

**THERMOGRAPHIE DES KNIEGELENKS
UNTER SPEZIELLER BERÜCKSICHTIGUNG VON
MENISKUSLÄSIONEN UND CHONDROPATHIA PATELLAE**

DIETER STEINFELD

1988

Disbui. München

1988



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554823_0077



Aus der Orthopädischen Klinik Großhadern der Universität München

Vorstand Prof. Dr. H.J. Refior

Thermographie des Kniegelenks
unter spezieller Berücksichtigung
von Meniskusläsionen und Chondropathia patellae

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Dieter Steinfeld

aus

München

1 9 8 8

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter Prof. Dr. C.J. Wirth

Mitberichterstatter Prof. Dr. H.J. Refior

Mitbetreuung durch
den promovierten
Mitarbeiter Dr. W. Siebert

Dekan Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen
Prüfung 28.07.1988

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Problemstellung und Einführung	1
2. Anatomie und Mechanik des Kniegelenks	2
3. Pathogenese der Meniskusverletzung	6
3.1 Alters- und Geschlechtsverteilung	6
3.2 Meniskusläsionen medial/lateral	7
3.3 Gelenkmechanische Ursachen	7
3.3.1 Drehtrauma	7
3.3.2 Überstrecktrauma	8
3.3.4 Mehrzeitiges Trauma	8
3.4 Erhöhte Reißbereitschaft	9
3.5 Formen der Meniskusverletzung	10
4. Diagnose der Meniskusverletzung	10
4.1 Klinische Untersuchung	10
4.1.1 Anamnese	10
4.1.2 Meniskuszeichen	11
4.2 Röntgendiagnostik	13
4.2.1 Röntgenleeraufnahmen	13
4.2.2 Arthrographie	14
4.3 Arthroskopie	15
4.4 Probearthrotomie	18

5.	Charakteristika der Chondropathia patellae	18
5.1	Ursachen	18
5.2	Diagnose	19
5.2.1	Anamnese	19
5.2.2	Röntgen	20
5.2.3	Arthroskopie	20
6.	Thermographie	22
6.1	Geschichte	22
6.2	Physikalische und physiologische Grundlagen	26
6.3	Anwendung der Thermographie in der Orthopädie	34
6.3.1	Wirbelsäule	34
6.3.2	Extremitäten	36
6.3.3	Tumoren	39
6.3.4	Durchblutungsstörungen	40
6.4	Fehlerquellen	43
6.4.1	Kamera	43
6.4.2	Raum	44
6.4.3	Patient	46
6.4.4	Aufnahmen	47
6.5	Kontraindikationen	47
6.6	Diskussion	48

	Seite
7. Eigene Thermographische Untersuchungen	49
7.1 Gerät und Raum	49
7.2 Patientenkollektiv	52
7.3 Kontrollgruppe	55
7.4 Untersuchungsablauf	58
7.5 Dokumentation und Auswertung	60
7.6 Kontrolle durch Arthroskopie	62
7.7 Fehlerquellen	62
8. Diagnostische Wertigkeit	64
8.1 Meniskusküsläsionen	64
8.1.1 Optische Auswertung	64
8.1.2 Messungen von anterior	65
8.1.3 Messungen von lateral und medial	67
8.1.4 Temperaturdifferenz im Seitenvergleich	70
8.1.5 Kontrolluntersuchungen	72
8.2 Chondropathia patellae	76
8.2.1 Optische Auswertung	76
8.2.2 Messungen der Patellatemperatur	78
8.2.3 Temperaturdifferenz im Seitenvergleich	82
8.2.4 Kontrolluntersuchungen	84
8.3 Kreuzbandläsionen	88
8.3.1 Optische Auswertung	88
8.3.2 Temperaturmessungen	88
8.4 Diskussion	92
9. Falldarstellungen	94
10. Diskussion und Zusammenfassung	108
11. Literaturhinweise	112

1. Problemstellung und Einführung

Die Thermographie existiert in der klinischen Diagnostik seit über 35 Jahren und erlangte in den 70er-Jahren als eine Untersuchungsmöglichkeit der weiblichen Brust ihre bisher größte Bedeutung in der Medizin.

Das Universitätsklinikum Großhadern beschäftigt sich schon seit über 10 Jahren mit der Thermographie. Damals führte Keyl grundlegende Arbeiten über Sportverletzungen des Bewegungsapparates durch (65). In Erweiterung dieser Basisarbeit soll in dieser Studie versucht werden, das vorliegende Ergebnis zu überprüfen und vor allem die diagnostisch problematischen, veralteten Meniskuskäsionen sowie die Chondropathia patellae im thermographischen Bild zu erfassen.

Um dieses Ziel zu erreichen, erstellten wir Thermogramme von 102 Patienten, die unmittelbar darauf einer diagnostischen oder therapeutischen Arthroskopie unterzogen wurden. Dieser erste Teil der Arbeit erstreckte sich über einen Zeitraum von ca. 4 Monaten. Es gelang uns, 18 Patienten nach einem Zeitraum von ca. 6 Monaten erneut zu thermographieren und das Thermogramm mit dem klinischen Bild und dem Verlauf der Verletzung zu korrelieren. Als Kontrollgruppe dienten 24 Knie von gesunden Probanden, bei denen aus verständlichen Gründen keine Arthroskopie durchgeführt werden konnte. Die Diagnose "gesund" stützt sich hier auf die exakte orthopädische Untersuchung.

Ziel dieser Arbeit war es, zu überprüfen, ob die Thermographie als Screening-Verfahren bei der Kniegelenksdiagnostik eingesetzt werden kann und die diagnostisch oft unsichere Arthrographie ergänzen oder verbessern kann. Da die Thermographie ein passives Verfahren zur Aufzeichnung von Infrarotstrahlung ist, bleibt den Patienten sowohl die schmerzhafteste intraartikuläre Injektion von Kontrastmittel, als auch die nicht unerhebliche Strahlenbelastung der Arthrographie erspart.

Das Wärmebild könnte damit als eine Art Filter dienen, das vor die in diagnostischer Hinsicht überlegene, aber invasive Arthroskopie geschaltet werden kann.

2. Anatomie und Mechanik des Kniegelenks

Wesentliche Voraussetzung für die Diagnose von Kniegelenksschäden ist die genaue Kenntnis der anatomischen Verhältnisse am Kniegelenk.

Im Kniegelenk artikulieren die konvexen Gelenkflächen der Femurkondylen mit den fast ebenen Gelenkflächen des Tibiakopfes. Durch Zwischenschalten des medialen und lateralen Meniskus wird die Anpassung der ungleichen Gelenkflächen von Tibia und Femur erreicht. Ventral zwischen den beiden Femurkondylen befindet sich das Patellagleitlager.

Die Femurkondylen stehen nicht parallel zueinander, sondern divergieren nach distal und dorsal und sind schräg zueinander geneigt. Die sagittale Krümmung ist schneckenförmig; der laterale Kondylus ist stärker gekrümmt als der mediale. Der Tibiakopf weist gegenüber dem Schaft eine Retroflexion von 155° auf, die Tibiakopffläche steht nicht horizontal, sondern ist um $8-10^\circ$ rekliniert. Sie wird durch eine freie Fossa intercondylica anterior, posterior, und die Eminentia intercondylica in einen medialen und einen lateralen Abschnitt unterteilt.

Nach ventral hin vervollständigt die Patella das Kniegelenk. Sie ist in die Sehne des Muskulus quadriceps femoris eingelagert und dient als Schutzapparat für die vorderen Gelenkweichteile. Gleichzeitig setzt sie die mechanische Beanspruchung des Tibiofemoral-Gelenkes herab. Die patellare Gelenkfläche ist sattelförmig ausgebildet und läuft in der entsprechenden Gelenkfläche zwischen den Femurkondylen. Sie hat in den zentralen Partien einen Knorpelüberzug bis zu 6mm Dicke. Die Patellaform variiert sehr stark und hat aktuelle pathogenetische Bedeutung für die Entstehung der retropatellaren Knorpelschäden (8) (Abb.1).

Das Kniegelenk wird im Gegensatz zu anderen Gelenken nicht überwiegend knöchern geführt, sondern erhält seine Stabilität vorwiegend durch eine straffe Muskel- und Kapselführung.

TYP WIBERG	Charakteristik	Häufigkeit
	$\alpha = 120-140^\circ$ med. Facette = lat.	10%
	$\alpha = 110-120^\circ$ med. Facette = lat.	65%
	$\alpha = 110-120^\circ$ wie II, aber med. Facette Konvex	
	$\alpha = 90-110^\circ$ med. Facette Konvex	
	$\alpha = 90^\circ$ med. Facette mit Höcker	15%

Abb. 1
Formvarianten der Patella in
tangentialer Sicht nach Wiberg
(aus 8)

Die Bandführung besteht aus dem Ligamentum patellae proprium und dem Reservestreckapparat, dem medialen Seitenband, welches mit dem medialen Meniskus sowie der Gelenkkapsel fest verwachsen ist, dem lateralen Seitenband, welches außerhalb der Gelenkkapsel liegt und mit dem lateralen Meniskus nicht verwachsen ist, dem vorderen und dem hinteren Kreuzband sowie dem Ligamentum popliteum obliquum, welches die hinteren Kapselabschnitte verstärkt (Abb. 2 und 3).

Abb. 2
Rechtes Kniegelenk
von hinten (aus 93)

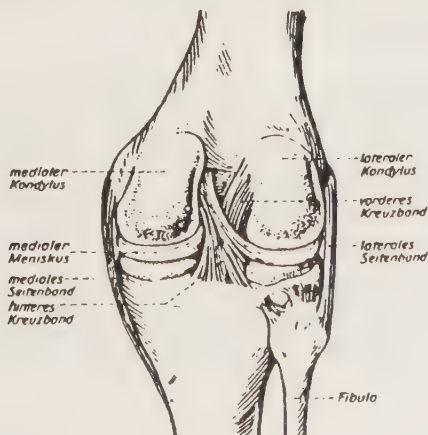
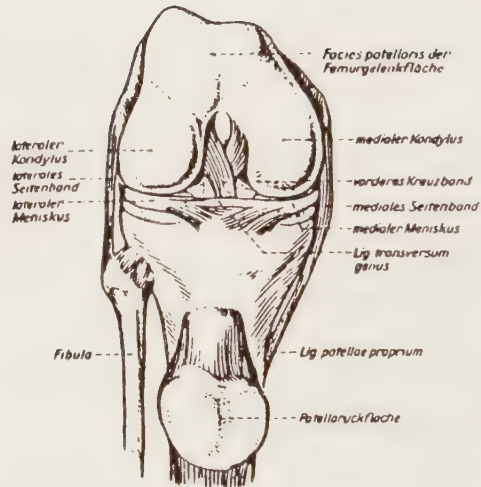


Abb. 3

Rechtes Kniegelenk
von vorn (aus 93)



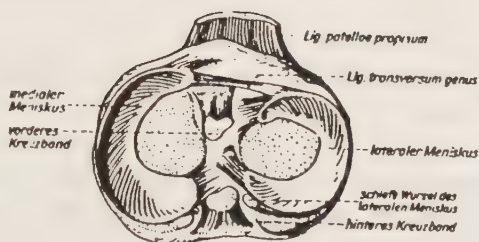
Funktionell gehören das hintere Kreuzband und das laterale Seitenband sowie das vordere Kreuzband und das mediale Seitenband zusammen.

Die Menisci haben eine sichelförmige Gestalt. Man unterteilt sie topographisch in Pars anterior (Vorderhorn), Pars intermedia und Pars posterior (Hinterhorn). Histologisch lassen sich im Querschnitt drei verschiedene Schichten erkennen: eine gefäßlose knorpelige Innenzone, eine mittlere Faserknorpelzone sowie die gefäßführende kapsuläre Ansatzzone aus kollagenem Bindegewebe.

Die Menisci unterscheiden sich äußerlich in der Form. Der mediale Meniskus ist größer. Er hat Verbindungen in seinem Vorderhornbereich zur medialen Tibiakopfoberfläche, zu dem vorderen Kreuzband sowie zu den vorderen Teilen des lateralen Meniskus. Im Intermediärbereich steht die Meniskusbasis in Verbindung mit der Gelenkkapsel und den hinteren Faserzügen des medialen Kollateralbandes. Die Befestigung im Hinterhorn besteht in einer Gewebsbrücke zur Gelenkkapsel, sowie in einer Verankerung am Tibiakopf direkt vor dem Ansatz des hinteren Kreuzbandes (Abb. 4).

Abb. 4

Rechte Tibialgelenk-
fläche mit den Menisci
in der Aufsicht.
(aus 93)



Der laterale Meniskus ist im Gegensatz zum medialen nahezu kreisförmig. Vorder- und Hinterhorn inserieren vor und hinter dem lateralen Zwischenknorrenhöcker der Tibia. Der basale Ansatz ist mit Ausnahme der Stelle, an der die Popliteussehne am Meniskusrand vorbeiläuft, mit der fibrösen Gelenkkapsel verwachsen, nicht jedoch mit dem lateralen Seitenband (Abb. 4).

Die elastische Verankerung beider Menisci verleiht ihnen ein hohes Maß an Beweglichkeit. Dieses trifft ganz besonders beim lateralen Meniskus zu.

Die Menisci bilden wandernde Gelenkpfannen, die in allen Gelenkstellungen einen Formschluß zwischen Tibiaplateau und Femurkondylus sichern. Sie verteilen nach Art eines Ringkissens den Druck der Gelenkenden auf eine größere Fläche und halten den Bandapparat gleichmäßig unter Spannung, so daß eine geführte Bewegung des Kniegelenks möglich ist.

Entsprechend der großen Formkongruenz der Gelenkflächen gibt es vier Freiheitsgrade für die Bewegungen im Kniegelenk (77, 78):

- Eine reine Abwinkelung des Unterschenkels um eine quere Femurkondylenachse.
- Eine Gleitbewegung entlang einer wandernden Querachse.
- Eine Abrollbewegung des Femur auf einer vertieften Tibiagelenkfläche.
- Eine Rotation des Unterschenkels gegenüber dem Oberschenkel und den Menisci.

Die Beuge-Streckbewegung im Kniegelenk ist eine Mischbewegung aus Rollen und Gleiten. Die Menisci verändern ihre Form bei der Bewegung: durch Strecken des Beines werden sie in die Länge gezogen und verschmälert, beim Beugen umgekehrt breiter und kürzer.

Bei Beugung und Rotation des Unterschenkels liegen die Menisci mit ihrer konkaven Oberfläche der Krümmung der Femurkondylen an und werden gegenüber der Tibiagelenkfläche verschoben. Dabei führt der beweglichere laterale Meniskus fast doppelt so große Exkursionen aus wie der mediale (52). Durch die Fesselung des medialen Meniskus mit dem medialen Seitenband ist dieser häufiger von Verletzungen betroffen als der laterale (72).

3. Pathogenese der Meniskusverletzung

3.1 Alters- / Geschlechtsverteilung

Im Kindesalter sind Meniskusverletzungen ebenso selten wie bei Erwachsenen jenseits des sechzigsten Lebensjahres. Der Gipfel bei der Altersverteilung der Meniskusküsläsionen liegt im Leistungsalter im Bereich des dritten und vierten Lebensjahrzehntes (62) (Abb. 14).

Die Geschlechtsverteilung Männer zu Frauen beträgt durchschnittlich 3:2 (17), und entspricht damit der in unserem Krankengut (Abb. 13). Dieses ist wohl dadurch zu erklären, daß bei Männern eine stärkere sportliche und/oder berufliche Belastung der Kniegelenke vorliegt (z.B. Fußball bzw. Fliesenleger, Bergmann).

3.2 Meniskusläsionen medial/lateral

Infolge der besonderen anatomischen Gegebenheiten und der daraus resultierenden gelenkmechanischen Situation sind die Verletzungen des medialen Meniskus weitaus häufiger als die des lateralen. Die Verhältnissangaben sind je nach Eigenart des Untersuchungsgutes unterschiedlich, je nach Patientenkollektiv (vorzugsweise Bergarbeiter, Sportverletzte oder gemischtes Krankengut) betragen sie lateral zu medial 1:5 (5) oder 1:9 (17). Gleichzeitige mediale und laterale Meniskusläsionen finden sich bevorzugt bei Bergarbeitern unter Tage sowie bei Berufsgruppen mit überwiegend hockender oder knieender Tätigkeit (20).

Die beiden bei der Pathogenese der Meniskusverletzung wichtigsten Punkte sind gelenkmechanische Ursachen und Faktoren, welche die Reißbereitschaft des Meniskus erhöhen.

3.3 Gelenkmechanische Ursachen

3.3.1 Drehtrauma

Aufgrund der schon geschilderten anatomischen Verhältnisse wird deutlich, daß die Menisci bei gebeugtem Knie und Rotationsstellung des Unterschenkels besonders gefährdet sind.

Kommt es in dieser Stellung zu einer plötzlichen äußeren Gewalteinwirkung wie z.B. einer eintretenden Streckung oder einem reflektorischen Muskelskraftschluß so wird der Meniskus durch die fest aufeinandergepreßten Gelenkkörper fixiert und kann dem angreifenden Kapselzug nicht folgen. Die Einklemmung des medialen Meniskus wird dabei durch die Form des medialen Femurkondylus (größerer Krümmungsradius) und der konkav gestalteten medialen Tibiagelenkfläche begünstigt. Wird die Elastizitätsgrenze des Meniskus bei solcher Gewalteinwirkung überschritten, so kommt es zur Substanzierruptur oder zum Abriß des Meniskus an seiner Insertion.

Diese oben beschriebenen indirekten Gewalteinwirkungen treten besonders beim Ballabschuß aus Beugstellung im Kniegelenk auf, wobei aus Außenrotation und Beugung des Kniegelenks eine schnelle Streckung des Beines erfolgt (Fußball). Ein weiteres typisches Drehtrauma des Kniegelenks finden wir beim Skilaufen, wo bei fixiertem Fuß im gebeugten Knie durch Drehung des Körpers eine Rotation im Kniegelenk stattfindet.

3.3.2 Überstrecktrauma

Plötzliche Überstreckung und direkte seitliche Gewalteinwirkung auf das gestreckte Kniegelenk führen zu einer Kompression des Meniskus und können dabei zur Meniskuseinklemmung und -quetschung führen. Ein großer Teil der Querrisse, besonders des Außenmeniskus, entstehen vermutlich durch dieses Verletzungsschema. Ein typisches Beispiel für diesen Verletzungsmechanismus ist der Preßschlag beim Fußballspiel gegen das gestreckte Bein.

3.3.3 Mehrzeitiges Trauma

Die oben beschriebenen Beispiele einer indirekten und direkten Gewalteinwirkung auf das Kniegelenk sind geeignet, einen gesunden Meniskus zu schädigen.

Anamnestisch steht jedoch die Gewalteinwirkung nicht immer im Verhältnis zum Ausmaß der Meniskusschädigung. Die weitaus meisten Meniskusverletzungen entstehen mehrzeitiq als "körpereigene Traumata", d.h. es kommt unter physiologischen Bewegungsabläufen zur Meniskusruptur wie z.B. bei unkoordiniertem Hochkommen aus der Hocke oder Ausrutschen auf Glatteis.

In der Anamnese finden sich daher häufig mehrfache sog. Alltagstraumata, die vom Patienten häufig als Bagatellverletzung bewertet und nur durch eine genaue Erhebung der Anamnese bekannt werden. Insbesondere bei gutachterlicher Stellungnahme ergeben sich hier Schwierigkeiten bei der genauen Einordnung der Vorschädigung des Meniskus, da vom Patienten häufig das letzte Unfallereignis, welches zu verstärkten Kniegelenksbeschwerden führte, als alleinige Ursache der Meniskusschädigung angesehen wird.

Eine Sonderstellung der mehrzeitigen Meniskusverletzung mit vorzeitiger Meniskusdegeneration nehmen die Berufe mit überwiegend hockender oder knieender Tätigkeit ein (Bergarbeiter, Fliesenleger, Dachlecker). Hier kommt es zu einer vorzeitigen Meniskusdegeneration durch Dauerdruck auf die Menisci in Hockstellung (4). Häufig führt dann ein geringfügiger Anlaß zur Verletzung des durch vorzeitige Degeneration rißbereiten Meniskus.

Dieser Tatsache wird auch durch die Anerkennung des Meniskusschadens als Berufskrankheit bei Berufen mit überwiegender Tätigkeit in Hockstellung Rechnung getragen (20).

3.4 Erhöhte Rißbereitschaft

Zu einer erhöhten Rißbereitschaft des Meniskus führen eine lockere Gelenkführung durch Verletzungen des Bandapparates, eine Fehlstatik der Beine, sowie konstitutionelle Faktoren und Formvarianten der Menisci.

Weiterhin kann es durch Sepsis, Urämie, Gicht, Diabetes mellitus, Leukämie und rheumatischen Erkrankungen zur toxischen Meniskusschädigung kommen. Auch bei Durchblutungsstörungen wie z.B. der Endangiitis obliterans oder der Thrombophlebitis des Unterschenkels, kann der Meniskus mitbetroffen sein (12).

3.5 Formen der Meniskusverletzung

Man unterscheidet bei den Meniskusverletzungen randständige Längsrisse, Horizontalrisse, Radiärrisse, Lappenrisse und zentrale Längsrisse (Korbhenkelrisse).

Eine Zuordnung der einzelnen Formen zu Verletzungsmechanismen erscheint nicht möglich, so daß diese Einteilung rein deskriptiven Charakter hat. Lediglich der Korbhenkelriß kann mit einiger Sicherheit als langfristige-degenerativer Schaden und nicht als Folge einer akuten Verletzung aufgefaßt werden.

4. Diagnose der Meniskusverletzung

4.1 Klinische Untersuchung

4.1.1 Anamnese

Das Erkennen und Beurteilen von Verletzungen an den Menisci stellt aufgrund der Tatsache, daß es kein absolut sicheres Zeichen einer Meniskusläsion gibt, ein besonderes Problem dar. Es ergibt sich aus einer Reihe von Zeichen, die im Zusammenhang mit der Anamnese eine Meniskusläsion wahrscheinlich machen. Andererseits jedoch gibt es eindeutige Meniskusläsionen, die keine charakteristische, klinische Symptomatik haben.

Eine genaue Erhebung der Anamnese ergibt häufig schon den Verdacht auf eine Meniskusverletzung. Insbesondere muß der Unfallmechanismus genau analysiert und es müssen gezielte Fragen nach einem Drehtrauma bzw. einer berufsbedingten oder sportlichen Belastung des Kniegelenkes gestellt werden. In Anbetracht der Überwiegend mehrzeitigen Entstehung von Meniskusrissen gehört es, wie oben erwähnt, zur typischen Vorgeschichte, daß das Knie schon Monate oder Jahre vorher einmal verletzt war und seither gelegentliche Beschwerden zurückgeblieben sind, die dann von den Patienten bagatellisiert werden. Eventuell führt hier eine seitenvergleichende Messung der Oberschenkelmuskulatur weiter, denn das verletzte Bein wird bewußt oder unbewußt geschont.

Typisch in der Anamnese sind wiederholte, akute Einklemmungserscheinungen oder Gelenksperren, die bei normalen Bewegungen auftreten können und vom Patienten durch geeignete Manipulationen häufig selbst zu beseitigen sind. Zu erfragen ist auch das Auftreten von Beschwerden bei besonderen Belastungen wie Treppensteigen, Drehbewegungen im Knie oder Arbeiten in Hockstellung.

Meist zeigt sich unmittelbar nach dem Trauma der initiale Schmerz, der häufig mit einer Streckhemmung verbunden ist. Die Patienten schildern oft auch ein charakteristisches Schnappen im Kniegelenk. Die Schmerzen werden auf der Seite der Meniskusverletzung angegeben und lassen sich meist als Druckschmerz über dem Gelenkspalt nachweisen. Ein direkter Zusammenhang zwischen Ausdehnung und Schwere der Rißbildung sowie Schmerzintensität besteht im allgemeinen nicht. Ein Kniegelenkserguß zeigt sich in der Regel erst am darauffolgenden Tag und ist meist blutig-serös (93).

4.1.2 Meniskuszeichen

In der Literatur findet sich eine große Zahl sog. Meniskuszeichen, die sich in Ausführung und Aussagekraft jedoch oft ähnlich sind (4). Im Folgenden beschränke ich mich auf die wichtigsten klinischen Zeichen einer Meniskusverletzung.

- Die Streckhemmung

Eine länger bestehende federnde Streckhemmung des Kniegelenkes oder auch das rezidivierende Auftreten einer solchen ist ein relativ sicheres klinisches Zeichen einer Meniskusverletzung. Bei frischen Knieverletzungen muß die Streckhemmung jedoch unterschieden werden von der reflektorischen Schonhaltung des schmerzhaften Kniegelenkes in leichter Beugstellung.

- Der Rotationsschmerz

Geprüft wird bei Außenrotation der Innen-, bei Innenrotation der Außenmeniskus bei 90° gebeugtem Kniegelenk (Steinmann I). Bei Rotation im endgradig gebeugtem Kniegelenk und anschließender Streckung bei fixierter Rotation kommt es bei Meniskus-Hinterhornverletzungen mitunter zu einem Gelenkschnappen (McMurray-Zeichen). Der Rotationsschmerz findet sich bei über 50% der Meniskusverletzungen und ist damit auch ein relativ sicheres Zeichen einer Schädigung.

- Druckschmerz über dem Gelenkspalt

Ein Druckschmerz über dem Gelenkspalt findet sich bei fast jeder Meniskusverletzung, oft jedoch auch bei Knieprellungen. Wandert der Druckschmerz beim Beugen des Kniegelenks über den Gelenkspalt nach dorsal (Steinmann II), so erhöht sich die Wahrscheinlichkeit auf das Vorliegen eines Meniskusschadens.

- Der Kompressionsschmerz

Geprüft wird am leichtgebeugten Knie und fixiertem Oberschenkel bei Adduktion der Innen-, bei Abduktion der Außenmeniskus. Dieser Test läßt auch eine Abgrenzung gegenüber einer isolierten Seitenbandverletzung zu. Bei einer Meniskusverletzung ist die Kompression schmerzhaft, bei einer Bandverletzung die Dekompression.

- Die Quadizepsathrophie

Bei länger bestehender Beschwerdeangabe und bei weiteren positiven Meniskuszeichen gibt die vergleichende Umfangsmessung der Oberschenkelmuskulatur einen objektiven Hinweis auf die Schonung des betroffenen Beines. Das Vorliegen einer Umfangsdifferenz deutet in diesem Fall auf eine Meniskusschädigung.

Die Treffsicherheit der klinischen Diagnostik erhöht sich durch das gleichzeitige Auftreten mehrerer positiver Meniskuszeichen sowie einer typischen Anamnese. Sie ist abhängig von der Erfahrung des Untersuchers und liegt zwischen 60% und 90% (4).

Die Meniskuszeichen versagen oder führen zu falsch positivem Ergebnis am akut schmerzhaften Kniegelenk. Dies kann zur Folge haben, daß bei Fehlinterpretation der klinischen Befunde eine falsch indizierte Arthrotomie vorgenommen wird.

4.2 Röntgendiagnostik

4.2.1 Röntgenleeraufnahmen

Weitere diagnostische Hilfsmittel sind die Röntgendarstellungen des Kniegelenks. Hier dienen die Röntgenaufnahmen in den drei Standardebenen (a.p., seitlich und Patella tangential) zum Ausschluß einer knöchernen Verletzung am Kniegelenk. Die Aussage der einfachen Röntgenaufnahme über eine Meniskusschädigung ist sehr unsicher. Die Zeichen der Gelenkspaltverschmälerung sowie Ausziehung an den Gelenkkanten und konsolenartiger Anbauvorgänge am Tibiakopf (Rauber'sches Zeichen) lassen nur eine sehr unsichere Aussage über eine Meniskusschädigung zu (91).

4.2.2 Arthrographie

Ein gutes Hilfsmittel zur Kniegelenksdiagnostik ist die schon kurze Zeit nach Einführung der Röntgendiagnostik entwickelte Arthrographie. Die ersten Arthrographien vom Kniegelenk wurden bereits 1905 von Werndorf und Robinson (93) demonstriert. Es war zunächst eine negative Kontrastdarstellung mit Sauerstoff oder Stickstoff, später die positive Kontrastdarstellung mit wasserlöslichen Kontrastmitteln. In neuerer Zeit findet zunehmend die Doppelkontrastarthrographie mit Kontrastmitteleinspritzung und Luftfüllung des Gelenkes Anwendung.

Es handelt sich bei der Arthrographie um eine indirekte Untersuchungsmethode. Die Aussagekraft der arthrographischen Aufnahmen schwankt je nach Technik und Untersucher erheblich. Im Allgemeinen wird eine Treffsicherheit von durchschnittlich 60-90% angegeben (91), wobei in die Statistik nur die operativ bestätigte Arthrographie eingeht, und man noch eine zusätzliche Fehlerquote für die falsch negativen Arthrographien berücksichtigen muß. Diese lag in einer Studie aus dem Jahre 1978 mit einem Material von 635 Fällen bei immerhin 14% (66).

Bestimmte Rißformen, wie z.B. Meniskusquerrisse, sind in der Doppelkontrast Arthrographie schwer zu erfassen, da sie senkrecht zur Röntgenstrahlenrichtung verlaufen und nur einen kurzen Abschnitt des Meniskus betreffen.

Desgleichen ist die Doppelkontrast-Arthrographie häufig "blind" für den Korbhenkelriß (67). Da der Korbhenkel jeweils nur noch im entferntesten Anteil des Vorder- und Hinterhornes angeheftet ist, wird in der Doppelkontrast-Arthrographie oft der stehengebliebene Teil an der Meniskusbasis beschrieben, der bei länger zurückliegendem Trauma eine fast normale Meniskusform haben kann. Der verlagerte Korbhenkel liegt im Bereich der Interkondylenhöcker und ist wegen vielfacher Überlagerung dort nicht zu erkennen. Besonders problematisch ist, daß diese Art der Meniskusverletzung auch klinisch über längere Intervalle völlig symptomlos ist und nur zeitweise zu Einklemmungserscheinungen führt.

Obwohl in der Literatur die Treffsicherheit der Doppelkontrast-Arthrographie hoch angegeben wird, finden sich intraoperativ häufig abweichende Befunde. Dies bezieht sich sowohl auf die beschriebene Form der Läsion als auch auf ihre Seitenlokalisation (siehe 8.1.1). So ist es nicht selten der Fall, daß bei einer unklaren Klinik mit Verdacht auf medialen Meniskusschaden arthrographisch ein lateraler Meniskusschaden diagnostiziert wird, was den Chirurgen bei der Wahl seines Zugangsweges vor Probleme stellt.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Doppelkontrast-Arthrographie eine indirekte Untersuchungsmethode bei Verdacht auf Meniskusläsion ist, die bei exakter Indikationsstellung sowie Durchführung und Beurteilung ein wertvolles Hilfsmittel der präoperativen Diagnostik darstellt. Die Treffsicherheit hängt von der Erfahrung des Untersuchers ab und liegt nach unseren Erfahrungen nicht so hoch wie in der Literatur angegeben. Außerdem wird der Patient einer nicht unerheblichen Strahlenbelastung ausgesetzt.

4.3 Arthroskopie

Eine direkte Untersuchungsmethode des Kniegelenks ist die Arthroskopie. Diese Methode ermöglicht bei einem kleinen Eingriff einen sehr guten Überblick über das gesamte Kniegelenk, da jeder Punkt des Gelenks eingesehen werden kann.

Eine umfassende Information über die Möglichkeiten der Arthroskopie wurde erstmals 1957 von Watanabe (93) in einem Atlas der Arthroskopie vorgelegt. Watanabe hatte verschiedene Arthroskope mit Seit- und Geradeausoptik entwickelt, die mit intraartikulärer Beleuchtung durch eine Lampe ausgestattet waren und Blickwinkel zwischen 30° und 100° erlaubten. Probleme durch das Beschlagen des optischen Systems wurden 1965 durch die Einführung eines Stablinsensystems, der Hopkins-Optik, und der Verwendung von Kaltlichtquellen behoben.

In unserem Hause verwenden wir praktisch ausschließlich den zentralen Zugang nach Gillquist, den dieser 1976 erstmals beschrieben hatte. Die Untersuchungen erfolgen bei ambulanten Arthroskopien unter Leitungsblock-Anästhesie, bei therapeutischen, stationären Eingriffen unter Inhalations-Narkose. Das betroffene Bein ist so gelagert, daß eine Bewegung um 90° möglich ist und es besteht Bereitschaft zur Blutsperre. Die verwendeten Arthroskope verfügen fast ausschließlich über eine 30°-Weitwinkeloptik; nur für spezielle Fragestellungen benutzen wir die 70°-Optik. Solchermaßen ausgestattete Arthroskope finden sowohl bei allen neueren Veröffentlichungen, als auch bei den Arthroskopien in unserem Hause Verwendung.

Das Einführen des spitzen Obturators geschieht unter leichter Drehbewegung nach einer Hautinzision ca. 1 cm unterhalb der Patellaspitze direkt durch das Ligamentum patellae. Jetzt wird der spitze Obturator gegen den stumpfen getauscht und die Synovialis unter gleichzeitiger Streckung des Kniegelenks durchstoßen.

Danach wird die 30° Optik durch den in der Fossa intercondylaris anterior liegenden Obturator eingeführt und das Gelenk mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt. Die weitere Untersuchung geschieht unter ständiger Flüssigkeitsspülung, wobei der intraartikuläre Druck bei ca. 80 mm Hg liegt.

Man blickt nun auf die Fossa intercondylaris mit dem vorderen Kreuzband und der Plica synovialis. Unter Außenrotation und Valgusstreß wird der mediale Meniscus bei einer Beugstellung von etwa 45° inspiziert. Zusätzlich führen wir über einen gesonderten Zugang ein Tasthäkchen ein. Die Optik wird etwas zurückgezogen und unter leichter Bewegung die mediale Condylengelenkfläche inspiziert. Auch der mediale Recessus läßt sich von hier aus beurteilen. Die Besichtigung des lateralen Meniscus geschieht unter Innenrotation, Varusstreß und Beugung von 45°. Die Beurteilung des lateralen Hinterhornes ist in der Regel nicht schwierig. Der laterale Meniscus kann häufig in seiner gesamten Circumferenz gut überblickt werden. Die Inspektion der lateralen Condylengelenkfläche und des lateralen Recessus schließt sich an.

Nach Zurückziehen der Optik wird das Femoro-Patellargelenk in Streckstellung eingestellt und besichtigt. Die mediale und laterale Hinterfläche der Patella können ohne Schwierigkeiten betrachtet werden. Die Beurteilung des oberen Recessus erfolgt nach dem Passieren des Femoro-Patellargelenkes.

Unter Sicht erfolgt nun mit der 30°-Optik die Passage zwischen hinterem Kreuzband und medialem Condylus in das postero-mediale Kompartiment. Man blickt auf die hintere Kapsel.

Durch Drehung nach medial unten sowie leichtes Zurückziehen läßt sich das mediale Hinterhorn einstellen. Durch Innenrotation des Unterschenkels kann die Darstellung verbessert werden.

Nach Drehen des Gesichtsfeldes nach lateral und gleichzeitigem Zurückziehen der Optik kommt das hintere Kreuzband am medialen Bildrand zur Darstellung.

Die Inspektion des posterolateralen Kompartiments erfolgt in gleicher Weise, wobei jetzt die Sehne des M. popliteus zur Darstellung kommt.

Die Zuverlässigkeit der Arthroskopie liegt je nach Autor bei Meniskusverletzungen zwischen 85% und 90% (23), nach Erfahrungen an unserem Hause mit Tasthäkchen bei 100%, wobei als besonderer Vorteil zu werten ist, daß seröse oder blutige Ergüsse in derselben Sitzung punktiert werden können und so kein diagnostisches Problem darstellen.

Die Dokumentation des arthroskopischen Ergebnisses erfolgt direkt im Anschluß an den Eingriff auf speziellen, standardisierten Bögen, die auch die Grundlage für den Vergleich mit dem thermographischen Befund in dieser Arbeit bilden.

4.4 Probearthrotomie

Dies ist eine direkte Untersuchungsmethode, die jedoch heute obsolet ist.

In jedem Fall hat der Operateur bei der Probearthrotomie nicht die Möglichkeit zu einem vorher überlegten, planmäßigen Vorgehen. Ferner kann es dazu kommen, daß bei postoperativem Fortbestehen der Beschwerden diese nicht als Krankheitsfolge, sondern als Operationsfolge angesehen werden und zu Entschädigungsansprüchen führen. Es besteht deshalb heute zurecht eine allgemeine Zurückhaltung bei der explorativen Arthrotomie.

5. Charakteristika der Chondropathia patellae

5.1 Ursachen der Chondropathia patellae

Die Chondropathia patellae oder das Femoro-Patellare-Schmerzsyndrom (FPS) ist eine bisher rein klinische Diagnose bei Schmerzen in eben diesem Gelenk. Das möglicherweise vorhandene arthroskopische Korrelat, die Chondromalacia patellae ist eine herdförmige Degeneration des mit den Femurkondylen artikulierenden Knorpels der Patellarrückseite (8). Sie betrifft vor allem Jugendliche nach der Pubertät und junge Erwachsene und bevorzugt das weibliche Geschlecht.

Hervorzuheben bleibt jedoch, daß die Chondromalacia patellae und das Femoro-Patellare-Schmerzsyndrom grundsätzlich zwei verschiedene Diagnosen darstellen. Nach bisherigen Berichten findet sich nur in ca. 50% der Fälle mit klinisch verifiziertem FPS auch ein retropatellarer Knorpelschaden, so daß nur hier diese Läsion verantwortlich für die Beschwerden gemacht werden kann.

Die Chondropathia patellae ist meist bedingt durch eine konstitutionelle Schwäche des Knorpels, die wiederum recht häufig mit der sog. "angeborenen Bindegewebsschwäche" einhergeht. Klinisch von größter Bedeutung ist eine unphysiologische Belastung des patello-femoralen Gleitlagers, wie sie besonders bei Lateralisation der Kniescheibe zu finden ist. Diese Lateralisation wird begünstigt durch eine verstärkte Valgus-Stellung des Knies, wodurch der Muskulus quadriceps femoris verstärkt nach schräg lateral von seiner Insertion an der Tuberositas tibiae zieht. Schließlich führt auch allein eine asymmetrische Patellaform zur Lateralisation und damit zu Belastungsspitzen (Abb. 1).

Seltene Ursache der Chondropathia patellae sind stumpfe Traumen, die eine einseitige Zerreißung oder Schwächung des Reservestreckapparates verursachen. Bei einem Teil der Patienten lassen sich keinerlei Ursachen klinisch oder apparativ feststellen, sodaß hier von der "idiopathischen Chondropathia patellae" zu sprechen ist.

5.2 Diagnose der Chondropathia patellae

5.2.1 Anamnese

Die Anamnese hat sicher bisher die allergrößte Bedeutung bei der Diagnose des FPS und der Chondromalacia patellae, da der Knorpel als Substrat der Läsion röntgenologisch nicht darstellbar ist.

Dabei geben die Patienten Schmerzen unter der Kniescheibe an, die sich bei Anstrengung, insbesondere bei Treppensteigen oder Radfahren verstärken, aber auch in Ruhe auftreten können (singne de cine). Schmerz ist auch auslösbar bei seitlicher Verschiebung der Patella und beim Beugen des Gelenkes mit nach distal gedrückter Patella (Zohlenzeichen), evtl. bei Beklopfen der Kniescheibe. Zusätzlich kann ein feinsandiges Reiben bei der Bewegung auftreten, das nicht verwechselt werden darf mit dem größeren Reiben eines freien Körpers im Gelenk.

Bei der Untersuchung ist es wichtig, stets den Seitenvergleich zu beachten, da speziell die seitliche Patella-Bewegung auch bei vielen gesunden Knien als sehr unangenehm empfunden wird.

5.2.2 Röntgen

Das Röntgenbild ohne Kontrastmittel ist meist unauffällig. Lediglich in fortgeschrittenen Fällen sieht man evtl. eine unregelmäßig-fleckige Zeichnung der Patella-Rückfläche auf seitlichen und insbesondere auf tangentialen Aufnahmen. Schließlich kommen noch sog. Défilée-Aufnahmen in Frage. Dabei wird das Kniegelenk in 30°, 60° und 90° gebeugt und der Strahlengang so eingerichtet, daß er parallel zur femoralen Patella-Facettenlinie läuft.

Wesentlich aussagekräftiger ist hier, wie bei der Meniskusdiagnostik, die Anwendung der Arthrographie. Dabei können alle oben geschilderten Befunde unter den gleichen Strahlengängen erhoben werden. Zusätzlich können jedoch hier direkt Knorpelveränderungen gesehen werden, da die Grenzlinie zwischen Patellaknorpel und freiem Knieinnenraum direkt als solche imponiert.

Verständlicherweise wird jedoch die Arthrographie wegen ihrer relativ geringen Zuverlässigkeit bei großer Invasivität nicht bei alleinigem Verdacht auf Chondromalacia patellae eingesetzt. Die Diagnose ist somit fast immer ein Nebenprodukt einer aus anderen Gründen, z.B. einer Meniskusläsion, indizierten Röntgenkontrastdarstellung.

5.2.3 Arthroskopie

Die Arthroskopie erlaubt als einziges Verfahren präzise das Bestehen, die Lokalisation und den Grad einer Chondromalacia patellae anzugeben. In unserem Hause verwendeten wir dazu, wie bei der Meniskusdiagnostik, besonders eine 30°-Weitwinkeloptik, durch die das gesamte patello-femorale Gleitlager beurteilbar ist. Außerdem kann die patello-trochleare Artikulation dynamisch im Bereich von 5° Überstreckung bis 90° Beugung eingesehen werden. Die Einteilung der so beobachteten Knorpelschäden erfolgte nach einem modifizierten Schema nach Outerbridge (84), welches drei Schweregrade der Chondromalacia patellae angibt.

Sicher als pathologisch anzunehmen sind dabei aber nur die Grade II und III. Als mögliche Artefakte beschrieb Hughston 1984 (58), daß der erhöhte Gelenkbinnendruck während der Arthroskopie und die narkosebedingte Muskeler schlaffung möglicherweise die Position der Kniescheibe beeinflußt. Dadurch würde zum einen eine Patalla-Subluxation vorgetäuscht oder kaschiert werden, zum anderen kann eben nicht mit letzter Sicherheit davon ausgegangen werden, daß die im arthroskopischen Bild miteinander artikulierenden Gelenkflächen so auch in praxi zueinander stehen. Es erscheint jedoch sicher, daß diese Fehlerquellen von erfahrenen Arthroskopeuren berücksichtigt werden und nicht zu Fehldiagnosen führen.

Daneben kommt der von Henche 1978 (53) beschriebene Aquariumeffekt erschwerend bei der Beurteilung von Knorpelschäden hinzu. Durch die Flüssigkeitsfüllung des Gelenks hängen kleinste Knorpelzotten frei in die Gelenkhöhle, die unter normalen Bedingungen unauffällig in die Gelenksoberfläche integriert werden. Für den Untersucher imponieren diese Gebiete u.U. schon wie eine Chondromalacia patellae Grad I. Der Zusammenhang des retropatellaren Schmerzes mit dem arthroskopisch erhobenen Befund bleibt jedoch nach wie vor nur teilweise geklärt (55, 56), so daß wir große Hoffnungen in die Thermographie setzten, die als dynamisches Verfahren Hyperämien und dadurch bedingte Hyperthermien darstellen kann.

Diese Hyperthermien bilden das physikalische Meßobjekt der Thermographie und entstehen lokal infolge verschiedener Hyperämien. Ursache örtlicher Hyperämie-Bezirke kann in einem Gebiet, in dem keine Muskelwärme entsteht, und das nicht von großen Gefäßen durchzogen ist, nur eine vermehrte Kapillar-Durchblutung, wie sie z.B. bei Entzündungen entsteht, sein.

Damit erscheint es sehr wahrscheinlich, daß die Chondropathia patellae als lokale Entzündung der knorpeligen Gelenkfläche, infolge der von ihr ausgehenden Hyperthermie, von der Thermographie entdeckt werden kann. (siehe 6.2).

6. Thermographie

6.1 Geschichte

Die Körpertemperatur muß beim Warmblüter mit Hilfe von komplizierten neurohumoralen Regulationsvorgängen unter allen Umständen konstant gehalten werden. Von der Intaktheit der Temperaturregulation hängt das Funktionieren des Organismus weitgehend ab. Pathologische Veränderungen äußern sich oft in Temperaturänderungen und ebenso gehen zahlreiche Krankheiten mit örtlichen oder zeitlichen Veränderungen der Wärmeabgabe einher (42).

In den Anfängen der Medizin erkannte man bereits deren Bedeutung und benutzte als Meßinstrument die "fühlende Hand", bis Galilei Ende des 16. Jahrhunderts das Thermoskop als Basis für eine objektive Temperaturmessung schuf. Etwa zur gleichen Zeit schuf Sanctorius für klinische Untersuchungen ein auf die eigene Körpertemperatur geeichtetes Thermoskop (44) und leitete damit die Entwicklung ein, die schließlich in der Mitte des 19. Jahrhunderts zu dem von Wunderlich 1860 eingeführten Fieberthermometer führte. Damit war die Entwicklung dieser direkten und punktuellen Messung der Körpertemperatur bereits abgeschlossen, was damals wie heute Forscher und Interessierte dazu brachte, Möglichkeiten zur Aufzeichnung eines Gesamtbildes der abgegebenen Wärme zu erkunden. Selbst bei nur geringen Differenzen der örtlichen Wärmeverteilung läßt sich oft aus dem Wärmebild der Körperoberfläche ein Rückschluß auf den Krankheitsherd führen.

Die ersten Arbeiten auf diesem Gebiet unternahm Ende des 16. Jahrhunderts de la Porta, geriet jedoch bis in die frühen Jahre des 19. Jahrhunderts völlig in Vergessenheit (88). Dann erst hatten de Saussure und Prevost in Genua das Konzept entworfen, daß alle Körper Wärme abstrahlen und damit Pictet die Basis für seine Arbeiten gegeben (88). Pictet benutzte nicht die üblichen Flüssigkeitsthermometer, sondern verwendete sensible Luftthermometer, die wie ein Fernrohr die Wärme einfingen (88). Bald danach entdeckte Sir William Herschel in England das Infrarotspektrum und ermöglichte seinem Sohn, Sir John Herschel, den Bau des ersten Apparates, der Infrarotbilder sichtbar machen konnte (88).

Er benutzte dazu mit Alkohol befeuchtetes Papier, das an den der Wärme ausgesetzten Stellen schneller abtrocknete. Anfangs verblaßte daher sein Bild innerhalb einer halben Stunde, bis es ihm schließlich gelang, mit der Farbe der Pflanze "Viola tricolor" dauerhafte Bilder zu produzieren. Herschel benutzte für seine Aufnahmen das direkte Sonnenlicht, und es war John Tyndall in den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts, dem es gelang, das erste Bild eines terrestrischen Objektes zu produzieren.

Als Wärmequelle verwendete er den Lichtbogen einer Kohlefaden-Lampe, deren sichtbares Licht er mit einem von Sir John Herschel hergestellten Steinsalzfenster filterte. Die verbleibende Wärmestrahlung war so groß, daß die geschwärzte Fläche einer Platinfolie zum Glühen gebracht werden konnte. Auf den erhitzten Bezirken bildete sich wieder helles, metallisches Platin, das als Bild auf schwarzem Untergrund dauerhaft zu sehen war (87) (Abb. 5).



Abb. 5 Tyndalls Infrarotbild eines Kohlelichtbogens - das erste Infrarotbild eines irdischen Gegenstandes (aus 88).

Auf diesem Stand blieb die Entwicklung stehen, bis sich Czerny in den frühen 30er Jahren dieses Jahrhunderts mit der Verbesserung von Sir John Herschels Verdunstungsmethode zu beschäftigen begann. Er optimierte die Methode soweit, daß Objekte bis zu einer Temperatur von 90°C gesehen werden konnten. Aber erst der bevorstehende zweite Weltkrieg brachte entscheidende Durchbrüche. Baird entwickelte ein auf dem Verdunstungsprinzip beruhendes Gerät, mit dem zum ersten Mal der menschliche Körper sichtbar gemacht werden konnte (76).



Abb. 6 Eine mit dem von Baird entwickelten Verdunstungsprinzip gewonnene Aufnahme (aus 85).

Obwohl Dr.R.N.Lawson in Kanada versuchte, diese Geräte medizinisch anzuwenden, sah er doch drei prinzipielle Nachteile:

- Es war unmöglich, kontinuierlich Bilder aufzuzeichnen, da der Film ständig ersetzt werden muß.
- Die lange Belichtungszeit. Sie war prinzipiell kein Nachteil bei der Betrachtung statischer Objekte, aber reduzierte sekundär durch Temperaturangleichungen auf der Fotoplatte die erreichbare Auflösung.
- Die rein optische Auswertung ermöglichte keine standardisierten Beurteilungskriterien.

Die Geburt der modernen Thermographie fand während des zweiten Weltkrieges statt. In den frühen 40er Jahren entwickelte man in Deutschland den PbS-Detektor, der allerdings nur bis zu einer Wellenlänge von $3 \times 10^{-6} \text{ m}$ arbeitete. Dem für ca. 30°C warme Körper optimalen Wellenbereich von ca. $10 \times 10^{-6} \text{ m}$ kam dann der ebenfalls in Deutschland entwickelte PbSe bzw. PbTe-Detektor mit seinem Absorptions-Maximum zwischen 3 und $5 \text{ }\mu\text{m}$ schon wesentlich näher.

Schließlich leitete die Entwicklung des AGA-InSb-Detektors 1965 (18) zum heutigen Stand der Thermographie über. Dieses Gerät arbeitete zwar immer noch im Bereich von 3-5 μm , aber der Scanner konnte soweit verbessert werden, daß eine kürzere Belichtungszeit bei größerer Auflösung erreichbar war. Gerade diese lange Belichtungszeit war es nämlich, die in den ersten Jahren der medizinischen Anwendung der Infrarotthermographie (IRT) die größten Probleme bereitete.

Die Thermographie begann erst Mitte der 50er Jahre in der Medizin eine Rolle zu spielen. Damals war Dr. Lawson begeistert von der völligen Ungefährlichkeit und der geringen Belastung dieses Verfahrens für den Patienten. Er forschte lange Zeit auf dem Gebiet des Mamma-Carcinoms (73). Es zeigte sich jedoch schnell, daß die lange Scanning-Zeit des Gerätes, wobei als Minimum 10 Minuten angegeben wurde, genaue Wärmemessungen der Körperoberfläche nicht gestattete. Die Temperatur der menschlichen Haut variiert in der Zeit von 10 bis 30 Minuten zu stark, was Astheimer und Wormser 1959 (7) als erste beschrieben.

Im Laufe der 70er Jahre wurde die Scanning-Zeit jedoch so weit verbessert, daß die von uns verwendete Kamera der Firma Philips bereits eine Bildfrequenz von 1/sec. erreicht.

Die größten Erwartungen wurden dabei bei der Früherkennung von Mamma-Carcinomen in dieses Verfahren gesetzt (1). Leider waren die Ergebnisse nicht sehr ermutigend, da die Aussagekraft über weiter in der Tiefe liegende Prozesse sehr gering ist (siehe 6.2 und 6.3). Ein weiterer Schwerpunkt war und ist die Diagnostik von rheumatischen Erkrankungen, die 1967 begründet wurde und in Deutschland ihr Zentrum an der staatlichen Rheumaklinik Baden-Baden unter J.M. Engel hatte.

Aber auch in der Orthopädie wurden seit einiger Zeit Versuche mit der IRT unternommen, deren Ergebnisse in der Bundesrepublik Deutschland besonders von Koob und Konermann an die Öffentlichkeit getragen werden (69).

6.2 Physikalische und physiologische Grundlagen

Ein Infrarotthermometer besteht prinzipiell aus einem System, das Strahlung aus einem bestimmten Blickfeld einfängt und es auf einem Detektor fokussiert, der die Wärmestrahlung in ein elektrisches Signal umwandelt. Der Aufbau eines thermographischen Bildes verlangt ein optisches Scanning-System mit einem Bildschirm.

Die meisten medizinischen Geräte verwenden als Detektor InSb-Elemente, die den Vorteil haben, in sehr kurzer Zeit (ca. 5×10^{-6} sec.) auf die angebotene Wärmestrahlung zu reagieren.

Zur Kühlung und als Referenztemperatur-Geber verwenden die meisten Geräte flüssigen Stickstoff von 77°K (-196°C), der in einem kleinen Dewar-Gefäß gespeichert wird.

Von großer Bedeutung ist die Überlegung, welche Wärmestraahlen aus dem gesamten Infrarotspektrum aufgefangen werden sollen. Der menschliche Körper entspricht im Bereich von $3 \text{ bis } 20 \times 10^{-6} \text{ m}$ mit seinem Emmissionskoeffizient $E = 0,98 \pm 0,01$ (102) annähernd einem idealen schwarzen Körper ($E = 1,0$) der seine gesamte Wärme als Strahlung abgeben kann. Ein solcher schwarzer Körper mit 27°C hat das Maximum seiner Wärmeabgabe im Wellenbereich von $10 \times 10^{-6} \text{ m}$ (Abb. 7).

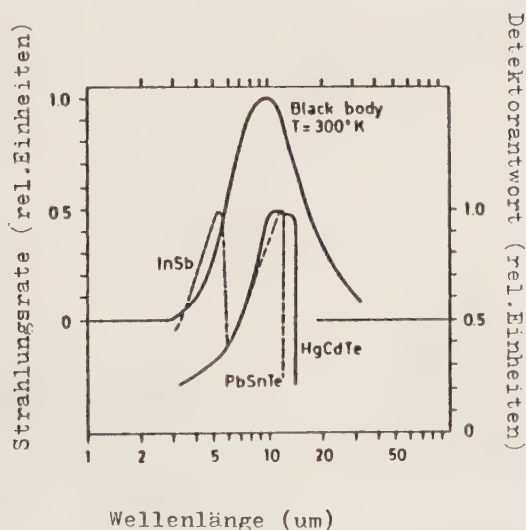


Abb. 7 Strahlenspektrum eines Black-Body mit 300°K (27°C) und Absorptionsbereiche von IR-Detektoren (aus 63).

Der Nachteil der relativ billig und einfach herzustellenden InSb-Detektoren ist, daß sie im Bereich von $3 \text{ bis } 5 \times 10^{-6} \text{ m}$ arbeiten und daher nur 2% der abgegebenen Wärmemenge aufnehmen. Durch die heute im Gebrauch befindlichen leistungsstarken Verstärker ist es jedoch möglich, mit diesem Detektor eine Bildfolge von 1 Bild pro Sekunde zu erreichen (Philips Fotovoltaic InSb).

Die Verwendung der teuren HgCdTe-Detektoren, die im Bereich von 3 bis 14×10^{-6} m arbeiten, erlaubt zwar eine Ausnutzung von annähernd 100% der abgegebenen Wärmestrahlung, sie sind aber sehr viel langsamer in ihrem Ansprechverhalten. Damit fand dieser Detektortyp in der Medizin, wo es auf die dynamische Darstellung von Temperaturverläufen ankommt, erst in der neuesten, mit hochwertiger Elektronik ausgestatteten Geräte-Generation (Zeiss/ Kotherm), Anwendung.

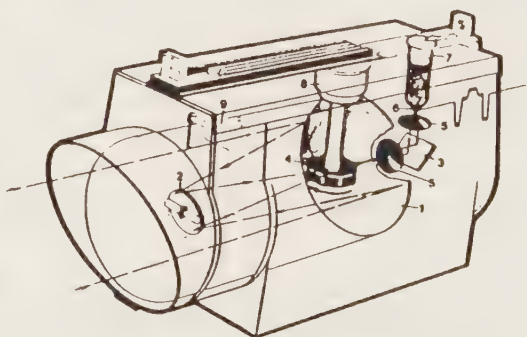
Abgesehen davon hängt die Wahl des geeigneten Systems entscheidend von der beabsichtigten Anwendung ab. Die dynamische Thermographie verlangt eine hohe Aufzeichnungsgeschwindigkeit (schneller als 2 Bilder pro Sekunde), während es für länger bestehende, kleinere Temperaturdifferenzen mehr auf die hohe Temporauflösung und Temperaturstabilität ankommt.

Erster und typischer Vertreter der heute verwendeten Generation von Thermographie-Kameras ist das AGA-Gerät von 1965, das wegen des einfachen Aufbaus hier anstelle der neuesten Geräte exemplarisch erläutert werden soll: (Abb. 8 aus 69).

Prinzip der Thermovisionskamera des AGA-Thermovisionssystems 661 (nach Hanseatische-AGA-Gas GmbH 1969)

1 = sphärischer Spiegel, 2 = Schwenkspiegel, schwingt mit 16 Hz, 3 = Planspiegel, 4 = Siliciumprisma, rotiert mit 200 U/Sek, 5 = Germaniumlinse, 6 = InSb-Detektor, dessen Signale nach Verstärkung zur Wiedergabeeinheit geleitet werden, 7 = Dewar-Gefäß für flüssigen Stickstoff, 8 = Prismenmotor, 9 = Schwenkspiegelmotor

Im Aufnahmeteil wird das vom Objekt einfallende divergierende Strahlenbündel von einem feststehenden Hohlspiegel auf einen Planspiegel fokussiert. Dieser führt kleine Kippbewegungen um eine horizontale Achse mit 16 Umdrehungen pro Sekunde aus. Hierdurch wird der Meßbereich vertikal über das Objekt geführt. Nach der Reflexion am Planspiegel durchläuft der Strahl ein achtsseitiges Prisma, das mit einer Geschwindigkeit von 200 U/Sek um eine vertikale Achse rotiert. Durch die Rotation und die entsprechende Ablenkung im Prisma wird der Meßfleck horizontal über das Objekt geführt. Nun fällt der dem Meßfleck zugeordnete Strahl auf den Detektor und erzeugt ein Signal, dessen Höhe eine Funktion der Strahlungsintensität ist. Nach erfolgter Verstärkung wird dieses elektrische Signal dem Wiedergabeteil zugeführt. In der Wiedergabeeinheit steuert das erneut verstärkte Signal die Helligkeit des auf einer Kathodenstrahlbildrohre erzeugten Lichtpunktes. Die horizontale und vertikale Bewegung des Lichtpunktes über den Bildschirm wird von entsprechenden Synchronsignalen gesteuert, die an den Antrieben für den kippenden Planspiegel und das drehende Prisma aufgenommen werden. Hierdurch wird der Lichtpunkt genauso über den Bildschirm geführt wie der Meßfleck über das Objekt.



Als nächstes gilt es, das Augenmerk auf die Untersuchungsbedingungen zu richten. Um Artefakte zu vermeiden, müssen alle Untersuchungen in einem zugfreien Raum (Windgeschwindigkeit kleiner als 0,2 m/sec.) bei konstanter Temperatur ausgeführt werden.

Die geforderten Idealtemperaturen schwanken je nach Autor. J.M. Engel gibt eine Idealtemperatur von 18°C bei der Suche nach Hyperthermien und eine Temperatur von 24°C bei Fahndung nach hypothermen Arealen auf der Haut an (35). Praktikabler erscheint die Forderung von Colin H. Jones nach einem Temperaturbereich von $20 \pm 1^\circ\text{C}$ (63), denn jeder Patient oder Proband muß sich mindestens 15 Minuten unbedeckt im Untersuchungsraum aufhalten, damit Artefakte durch Kleidung oder kalte Außentemperaturen vermieden werden (35). Auch 1980 an der Universität von Göteborg gemachte Untersuchungen (80) belegen, daß es zwar sehr wichtig ist, die Raumtemperatur konstant zu halten, daß der Absolutwert aber sehr wohl in einem Bereich zwischen 17° und 23°C liegen kann. Nielssen e.a. implantierten dazu eine künstliche Wärmequelle unter die Haut und maßen simultan den Temperaturanstieg an dieser Wärmequelle und an einem Punkt an der Hautoberfläche direkt darüber. Vorangehen ließen sie jeweils eine Zeit von mindestens 20 Minuten, damit sich das Versuchstier an die Umgebungstemperatur anpassen konnte. Sie untersuchten die Erwärmung der Haut unter drei verschiedenen Bedingungen: Bei Windstille und konstant 17°C bzw. konstant 23°C und bei starker Luftströmung im Zimmer, wodurch die Hautwärme sofort an die Raumluft abgegeben wurde. Bei gleicher Erhitzung der künstlichen Wärmequelle unterschieden sich die Hauttemperaturverläufe bei 17°C und bei 23°C nur unwesentlich voneinander. Bei unkontrollierter Raumtemperatur infolge der starken Luftströmung und heraufgesetzter Wärmekonvektion ergab sich jedoch eine weit flachere Kurve, d.h. die Oberflächentemperatur stieg wesentlich weniger an und kaschierte dadurch die Wärmequelle.

Von besonderer Bedeutung ist die Ausscheidung jeder externen Wärmequelle. So sollte der Untersuchungsraum keine Fenster haben und die Klimaanlage möglichst extern arbeiten. Als Lichtquelle dürfen keine Glühbirnen verwendet werden, sondern die Ausleuchtung muß mit Leuchtstoffröhren und damit mit Kaltlicht erfolgen.

Die Anforderungen an eine konstant gehaltene Luftfeuchtigkeit werden bei verschiedenen Autoren ebenfalls unterschiedlich, wenn auch in engeren Grenzen als die Lufttemperatur, gesehen. Allgemein wird jedoch eine mittlere Luftfeuchtigkeit zwischen 50% und 60% verlangt (1, 44). Dadurch wird sowohl eine starke Verdunstung der Hautfeuchtigkeit bei trockener Luft als auch eine Kondensation bei zu hohem Wasserdampfdruck vermieden.

Die Durchschnittstemperatur des Körperinneren, also des Körperkerns, bestehend aus Schädelinnerem, Brust- und Bauchhöhle, beträgt 37°C (6). Die Körperoberfläche übernimmt eine doppelte Funktion. Sie dient als Kühler des Körperkerns und als Schutz vor Wärmeverlusten, tritt also als Intermedium zwischen Kerntemperatur und Außenwelt auf (1). Unter normalen Bedingungen ist sie niedriger als die Kerntemperatur. Sie variiert zwischen 23 und 35°C, wobei sich das größte Temperaturgefälle zwischen Innen- und Außentemperatur im Bereich der Extremitäten zeigt (9).

Kontrolliert wird der Wärmeverlust durch die sympathische Vasokonstriktion der Haut. Unter kontrollierten Umweltbedingungen zeigen symmetrische Gebiete der Körperoberfläche gleiches Temperaturverhalten. Jeder äußere Einfluß, der Vasokonstriktions-Reflexe auslöst, führt zu einer Änderung des Wärmebildes durch örtliche Temperaturverschiebungen (74). Eine tiefe Umgebungstemperatur wirkt sich kontrastverstärkend auf das Thermogramm aus, da Vasokonstriktion die Schweißabsonderung und damit die Konduktion verringert. Da die Körperoberflächentemperatur nicht konstant ist, sind bei der diagnostischen Auswertung der Thermogramme die örtlich verschiedenen Temperaturverhältnisse zu beachten. Das Fettgewebe imponiert als kühle Zone, da es ein schlechter Wärmeleiter und guter Isolator ist. Hypotherme Zonen findet man ferner über Knie- und Knöchelgelenk, da hier spärlich vaskularisiertes Gewebe unter der Haut liegt. Zonen erhöhter Temperaturen sind beobachtbar über Hautfalten (Gesäß, Nabel), im Bereich der Fingerzwischenfalten und der Oberschenkelinnenseiten, wenn keine genügende Abspreizung erfolgte (44).

Auch wenn all diese Kautelen erfüllt sind, darf ein einmalig aufgenommenes Thermogramm noch keinesfalls als absolut betrachtet werden. Wie D. Rusch 1984 (95) zeigen konnte, unterliegt die Hauttemperatur einem etwa 7-tägigen Rhythmus. Dabei konnte keine Korrelation mit Temperaturschwankungen im Untersuchungsraum oder mit entzündlichen Prozessen nachgewiesen werden. Da sich die ermittelten Werte an demselben Körperteil im Verlaufe dieser Perioden um bis zu 1°C änderten, wäre es völlig abwegig, nach einem allgemein gültigen Temperaturbereich für bestimmte Areale der Hautoberfläche zu suchen. Rusch konnte jedoch ebenfalls zeigen, daß die täglichen Werte der mittleren Hauttemperatur über dem Kniegelenk und einer distalen Oberschenkelregion streng miteinander korrelieren (Abb. 9).

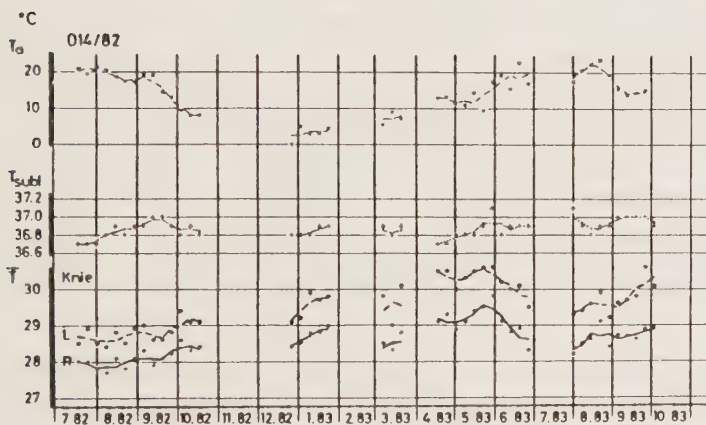


Abb. 9: Wochenmittelwerte von täglichen Meßwerten eines Probanden von Juli 1982 bis Oktober 1983. T_a = arithmetischer Mittelwert von täglichem Lufttemperatur-Maximum und -Minimum, T_{subl} = Sublingualtemperatur, $\bar{T}$ (L/R) = mittlere Hauttemperatur über linkem und rechtem Kniegelenk. Die Kurven verbinden jeweils die 21-Tage-Mittelwerte.

Für den Untersucher ergibt sich daraus die Möglichkeit, aus der Kenntnis bestimmter Normalrelationen der Hautoberflächentemperatur auf Änderungen dieser Verhältnisse aufmerksam zu werden. Mit anderen Worten, er muß mit Differenztemperaturen und nicht mit Absolutwerten zu arbeiten lernen.

Dies wiederum entspricht den Fähigkeiten und der Auslegung der meisten Thermographiekameras, denn die Meßgenauigkeit liegt für Differenztemperaturen zwischen Arealen eines Bildausschnittes um den Faktor 10 höher als für gemessene Absoluttemperaturen. Das Thermogramm ist also in sich stimmig, aber es kann um einen geringen Betrag, bei der von uns verwendeten Kamera um bis zu 1°C, nach oben oder unten verschoben sein.

Ob die bildliche Darstellung der Temperaturverteilung der Haut für alle tiefer liegenden Gewebe repräsentativ ist oder ob sie nur die Situation des Oberflächengewebes zeigt, ist ein entscheidender Punkt für die Beurteilung des medizinischen Wertes der IRT. Die abstrahlende Schicht der Haut reicht im Durchschnitt bis ins erste Drittel des Korium (29). Die Thermographie kann also pathologische Prozesse primär nur im Bereich der Epidermis oder im oberen Drittel des Korium nachweisen. Speziell bei Tumoren der Brustdrüse wurden zur Klärung der Frage, wie groß ein in der Tiefe liegender Tumor sein muß, bis er thermographisch entdeckt wird, mit großen Patientenkollektiven Untersuchungen durchgeführt (83). Nach Ansicht der Autoren hängt die Darstellbarkeit des Tumors von der Wärmedifferenz zwischen Tumorgewebe und Umgebung, von der Wärmeproduktion des Tumors und vom Wärmeleitungsvermögen des angrenzenden Gewebes ab. Ferner sind Größe und Tiefenlage der Geschwulst verständlicherweise von Bedeutung.

Experimentelle Untersuchungen zur Klärung dieses entscheidenden Problems, bei denen in zwei Versuchsreihen frisches, tierisches Muskelgewebe von ein bzw. drei Zentimeter Dicke (Schweinebauchfell mit einem annähernd gleichen Emissionsfaktor wie die menschliche Haut) verschieden starken Wärmequellen ausgesetzt wurde, ergaben, daß ein wärmeerzeugender Vorgang in einer Tiefe von über drei Zentimetern unter der Hautoberfläche möglicherweise thermographisch nicht mehr exakt darstellbar ist (39). Dabei ist zu berücksichtigen, daß das Wärmebild der dargestellten tierischen Weichteiloberfläche allein der Hitzeeinwirkung durch eine kunststoffummantelte, heizbare Messingplatte ausgesetzt war. Die Wärmekarte der menschlichen Haut wird dagegen durch Wärmeeinwirkungen verschiedenster Art beeinflusst.

Tiefere Prozesse können nur sekundär in Folge des direkten Wärmetransportes über die Durchblutung der Hautgefäße die Oberflächentemperatur modifizieren.

Weitere Untersuchungen von Nilssen und Gustavsson (81) ergaben, daß der Effekt einer Wärmequelle nicht nur mit zunehmender Tiefe, sondern auch mit zunehmender Entfernung vom Lot durch die Haut auf diese Quelle hin abnimmt. Dies geschieht in der Art von konzentrischen Isothermen, die es somit erlauben, bei nicht zu tief (kleiner 10 mm) sitzenden Wärmequellen deren genaue Lokalisation zu bestimmen (Abb. 10).

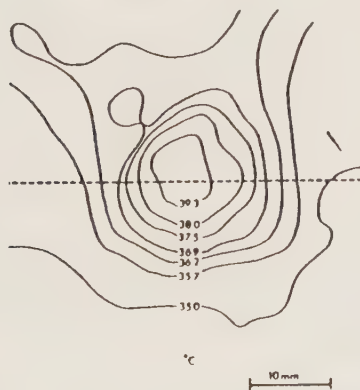


Abb. 10 Mehrere Isotherme der Hautoberflächentemperatur über einer Wärmequelle mit 250 mW in 5,4 mm Tiefe (aus 81).

6.3 Anwendung der Thermographie in der Orthopädie

6.3.1 Wirbelsäule

Charakteristisch für thermographische Untersuchungen der Wirbelsäule ist bisher, daß zwar sehr viele Gruppen Arbeiten veröffentlichten, diese jedoch nur anhand weniger kasuistischer Fälle belegten. Die Möglichkeiten der IRT wurden also auf diesem weiten Gebiet nur angedeutet, was unser Haus auch dazu veranlaßte, eine langfristig angelegte Studie mit hohen Fallzahlen zu beginnen. Nachfolgend werden die grundsätzlichen Ansatzpunkte der Wärmediagnostik mit exemplarischen Arbeiten vorgestellt.

So beschreibt Woudrough (107) das Bild der Wärmekarte des Rückens bei Skoliosen und diskutiert die Anwendung der IRT als Screening-Test. Er beschreibt in einer Vorveröffentlichung einer noch nicht abgeschlossenen Studie eine asymmetrische Wärmeverteilung sowohl auf der Dorsal als auch auf der Ventralseite, wobei die Temperaturen konkavseitig erhöht sind. Er beschreibt die Wärmebilder mit Buchstabensymbolen und unterscheidet fünf verschiedene Typen, ohne jedoch über deren Bedeutung etwas auszusagen. Ebenfalls über Wirbelsäulen-Skoliosen existiert ein Projekt aus unserem Hause, im Rahmen dessen eine Korrelation zwischen Skoliose-Winkel und Überwärmung gefunden oder ausgeschlossen werden soll. Ergebnisse liegen jedoch bis jetzt noch nicht vor, da wiederholte Messungen über 1 Jahr durchgeführt werden sollen (38).

Beim HWS-Syndrom sahen Koob (70) und Bartsch (10) bei der Untersuchung von 16 Patienten im Alter von 26-71 Jahren im Gegensatz zu zahlreichen Voruntersuchern eindeutig pathologische Thermogramme. Die Hauttemperaturen der Nacken-Schulter-Muskulatur lag bei diesem Patienten um 1 - 2,5°C über den ermittelten Normaltemperaturen. Temperatursteigerungen dieser Größenordnungen kommen bei Probanden ohne Beschwerden sonst nicht vor.

Ebenfalls Koob und Bartsch (70, 10) führten ausführliche Untersuchungen an 35 Patienten mit lumbalem Bandscheibenvorfall durch. Sie fanden bei 26 von ihnen atypische Isothemenbereiche erhöhter Temperatur, die im unteren Abschnitt der LWS lokalisiert waren. Die durchschnittlichen

Temperaturerhöhungen lagen im Bereich von 1-2°C, ließen jedoch keinen sicheren Hinweis auf die Höhe der erkrankten Zwischenwirbelscheibe zu. Eigene Untersuchungen an 131 Patienten mit Wurzelkompressionssyndrom ergaben jedoch, daß die Höhenlokalisation mit der Thermographie ähnlich zuverlässig wie mit einem Computer-Tomogramm ist. Ferner scheint sich die Thermographie sehr gut als Screening-Verfahren zu eignen, da die falsch negativen Ergebnisse 0% betragen, eine Wurzelkompression also sicher auszuschließen ist. Die Untersucher beobachteten bei positivem Ergebnis keine Hyperthermie, sondern eine segmental auf der betroffenen Seite sich zeigende Hypothermie von bis zu 2,5°C (16).

Keinerlei Änderungen im thermographischen Bild sind bei einer geringen bis mittelgradigen Spondylose oder Spondylarthrose zu sehen (97). Das ist auch nicht zu erwarten, da die Spondylose immer ein rein physiologischer und biologischer Alterungsvorgang ist. So war auch nur bei den Patienten ein streifenförmiger Bereich der unteren Rücken-Streck-Muskulatur um 1-2°C wärmer als normal zu beobachten, die auch bei der Untersuchung unter stärkeren Verspannungen litten.

Das thermographische Bild des Morbus Bechterew wurde wiederum erstmals von Koob und Bartsch (67, 10) anhand einer Studie von 17 Patienten eingehender beschrieben. Bei all diesen Fällen mit diagnostisch gesichertem Befund zeigte sich ein einheitlich pathologisches Bild. Typisch ist eine verbreiterte und weitgehend isotherme Zone erhöhter Temperaturen, die in breiten Streifen entlang der Wirbelsäule läuft und diese im Thermogramm verdeckt. Die Absoluttemperaturen dieser Bereiche liegen bei 30-33°C bei insgesamt leicht gesenkten Hauttemperaturen.

Ähnliche Beobachtungen machte Koob 1971 (70) bei 5 Patienten mit Spondylolisthesis. In Höhe des Wirbelgleitens befindet sich eine ovale, unregelmäßig begrenzte, nach cranial sich verschmälernde Zone erhöhter Temperatur. Dabei liegt die Hauttemperatur hier bis zu 3°C über den Umgebungstemperaturen.

Erste eigene Ergebnisse auf diesem Gebiet zeigen allerdings, daß ein deutlicher thermographischer Befund erst bei schon eindeutigen neurologischen Zeichen zu erheben ist (38).

6.3.2 Extremitäten

Hier konzentrieren sich die Veröffentlichungen auf die Anwendungsmöglichkeiten der IRT bei der rheumatoiden Arthritis und bei Durchblutungsstörungen. Bis jetzt sind Berichte über thermographische Diagnostik in der Orthopädie, Traumatologie und der plastischen Chirurgie selten und dann meist Einzelbeobachtungen.

Von mehr wissenschaftlicher Bedeutung sind Beobachtungen bei Wundinfektionen nach operativer Behandlung, die nach Koob (70) eine Temperaturerhöhung von 4-5°C im betroffenen Areal zeigen.

Auch akute Bursitiden im Bereich des Knie- und Ellenbogengelenks sowie phlegmonöse Entzündungen stellen sich eindrucksvoll dar. Differenzialdiagnostisch zeigt hier die traumatische, nicht entzündliche Bursitis gegenüber der septischen Bursitis eine deutlich geringere Überwärmung eines kleineren Bezirkes (13). Eine Unterscheidung zwischen septischer Bursitis oder Gelenksempyem einerseits und rheumatoider Arthritis andererseits gelingt jedoch nicht.

Innerhalb thermographischer Untersuchungen entzündlicher Prozesse nimmt die rheumatoide Arthritis selbst den größten Raum ein. Diese Veränderungen gehen mit einer starken Gefäßdilatation und entsprechend erhöhten Hauttemperaturen einher und lassen sich daher gut im Wärmebild erkennen. Dabei ist die IRT von besonderem Wert bei der Bestimmung des richtigen Zeitpunktes zur Synovektomie (19). Sie erlaubt nicht nur eine objektive Diagnose bezüglich der Lokalisation und des Aktivitätsgrades des Krankheitsprozesses, sondern sie ermöglicht auch die Bewertung der Therapie, was sonst nur schwer zu erreichen ist. Dabei bilden sich nach Operationen Hyperthermien erst nach 6-12 Monaten zurück (46). Auch eignet sich die IRT gut zur Früherkennung rheumatoider Schübe und als Screening bei Personen, die gefährdet sind, ohne bisher Anzeichen einer Erkrankung verspürt zu haben. So fand Koob (70) bei Patienten, die bei der körperlichen Untersuchung keinerlei Anzeichen für eine Erkrankung boten, im Serum und im thermographischen Bild übereinstimmende Befunde, welche die Diagnose frühzeitig ermöglichten.

Bei den degenerativen Erkrankungen der Hüfte und des Knies bietet die IRT demgegenüber keine oder wenig Hilfe. Koob thermographierte 104 Patienten mit ein- oder beidseitiger Koxarthrose sowie 10 Jugendliche im Alter zwischen 2 und 18 Jahren, die Hüftgelenksveränderungen ohne sekundäre Knorpelschäden hatten (70).

Die Ergebnisse haben gezeigt, daß mit den bisherigen technischen Möglichkeiten der IRT degenerative Veränderungen des Hüftgelenks nicht darstellbar sind. Die 4-6 cm dicke Weichteilschicht über dem Gelenk führt offensichtlich zur völligen Absorption der Wärmestrahlung, die von einer durch die Arthrose bedingten entzündlich gereizten Hüftgelenkskapsel ausgeht. Dies bestätigen die Ergebnisse der experimentellen Versuche zur Bestimmung der Tiefenerfaßbarkeit eines wärmeerzeugenden Vorgangs (39, 6.2).

Auch bei der Gonarthrose liefert die IRT keine guten Resultate. Klinisch und röntgenologisch gesicherte Fälle unterscheiden sich thermographisch zwar vom Normalbefund, jedoch sind diese Differenzen nicht verwertbar und lassen keine Rückschlüsse auf den Schweregrad der Arthrose zu. Lediglich bei aktivierter Gonarthrose mit starken Beschwerden ließ sich eine diffuse Erhöhung der Hauttemperatur um 3-4°C erkennen (70).

Bei Meniskusschäden liegen bisher nur kasuistische Berichte vor. Diese jedoch ergaben durch eine sichelförmige Überwärmung der Innenseite des betroffenen Knies gute Hinweise auf die später operativ diagnostizierte Meniskusläsion (70). Ermutigt durch diese Arbeit und einen Bericht von Lambiris (71) sahen wir gerade hier eine diagnostische Lücke bei den sonst schwer objektiv und nicht-invasiv zu diagnostizierenden Meniskusschäden und begannen unsere relativ spezifische und umfangreiche Studie.

Aber auch bei anderen orthopädisch interessanten Gebieten wie Sehnen- oder Bandrupturen kann das Wärmebild hilfreich sein. Hierbei sind nicht so sehr die einfach zu diagnostizierenden kompletten Rupturen interessant, als vielmehr Teilrupturen und degenerativ veränderte Sehnen. Die Hautareale über Spontanrissen oder Teileinrissen der degenerativ veränderten Achilles- bzw. Quadrizepssehne weisen eine Temperaturerhöhung um 1-2°C auf.

Regelmäßig durchgeführte Verlaufskontrollen dokumentierten dabei gut ihren Heilungsverlauf (70). Keyl und Lenhart konnten diese Ergebnisse durch eigene Untersuchungen von Sehnen- und Bandrupturen bei 82 Patienten mit Sportschäden bestätigen (65). Damit liefert die IRT gute Anhaltspunkte für die postoperative Belastbarkeit und könnte bei größerer Verbreitung zur Früherkennung der immer häufiger werdenden Überlastungsschäden bei Sportlern beitragen (69). Allerdings kann hier noch nicht verbindlich dazu Stellung genommen werden, ob das Thermogramm wirklich als objektives Diagnostikum zur Beurteilung der Sportfähigkeit von Leistungssportlern verwendet werden kann.

Die Möglichkeit der Beurteilung der Knochenbruchheilung durch die IRT wird besonders von Gresser anhand von 36 Patienten mit Unterschenkelbrüchen beschrieben (48). Die Knochenneubildung geht nach Ansicht dieses Autors mit einer vermehrten Wärmeabstrahlung einher, die sich nach entgeltiger Ausheilung des Bruches normalisiert. Die beobachteten Hyperthermien betrugen bei operativer Fixation mit der AO-Platte 5°C und waren damit höher als bei Nagelung oder bei konservativer Therapie.

Eine verzögerte Knochenheilung sowie Pseudarthrosen manifestierten sich ebenfalls durch erhöhte Hauttemperaturen (69).

Begrenzend wirkt jedoch auch hier die oft durch dicke Weichteilschichten verdeckte Lage der Knochen. Anwendung finden könnte die IRT jedoch sehr wohl in der Dokumentation der Knochenheilung bei Kindern, da hier die bedeckenden Muskelschichten nicht so bedeutend und eine Reduzierung der belastenden Röntgenaufnahmen besonders wünschenswert sind.

Die IRT-Darstellung der Hand ist weitgehend abhängig von den vorliegenden Durchblutungsverhältnissen, jedoch ermöglicht meist allein der Aufenthalt in einer klimatisierten Thermographie-Einheit eine ausreichende Kontrastverstärkung (43). Das Thermogramm der Hand weist ungewöhnlich hohe, individuelle Schwankungen auf, die von physiologischen, psychischen und umweltbedingten Faktoren abhängt. Das differenzierte Wärmebild der Hand läßt sich in der Regel gut darstellen, weil der Wärmetransport innerhalb der Handregion infolge der dünnen Schicht von Muskulatur und Fettgewebe relativ direkt erfolgt.

Bei der Dupuytren'schen Kontraktur erwähnte Gros (49) anhand von zwei Einzelbeobachtungen lediglich den thermographischen Befund, ohne den postoperativen Verlauf darzustellen. Koob und Geerling (70, 43) thermographierten wesentlich mehr Patienten, doch ergab sich bei ihnen wie bei Gros in allen Fällen ein dem Normalbefund entsprechendes Thermogramm. Eine aufgrund der verdickten, indurierten Palmaraponeurose vermutete Temperaturerniedrigung in dem betroffenen Bereich ließ sich thermographisch nicht feststellen.

6.3.3 Tumoren

Die Treffsicherheit der IRT zur Diagnostik maligner Mammatumoren wird im Schrifttum von vielen Autoren hervorgehoben, die ein größeres Krankengut überblicken. Hier wird die IRT auch seit über 10 Jahren als Routinediagnostikum in größerem Umfang angewandt (69). Begrenzend wirkt jedoch die relativ dicke Schicht isolierenden Fettgewebes bei tieferliegenden Tumoren und besonders die Tatsache, daß Tumore der Brust unterschiedliches Temperaturverhalten zeigen können. So zeichnen sich die meisten durch eine erhöhte Temperatur infolge Gefäßdilatation aus, es gibt jedoch genauso thermoneutrale oder sogar hypotherme Tumoren. Dies gilt besonders bei den schnellwachsenden, malignen Tumoren mit zentraler Nekrose, die hypertherme Randbezirke kaschieren können. Daher kann die Thermographie zwar sehr brauchbare Hinweise auf das Vorliegen einer Erkrankung geben, sie jedoch nie ausschließen.

Bei Tumoren der Extremitäten muß zwischen benignen und malignen Tumoren unterschieden werden, wenn die Treffsicherheit der IRT beurteilt werden soll. Koob und Geerling (70, 43) berichten über insgesamt 76 Patienten mit gutartigen Tumoren der Hand. Die eingehende Auswertung der thermographischen Bilder ergab keine Änderung des Befundes im Vergleich zum Normalthermogramm.

Als wesentlich wertvolleres diagnostisches Hilfsmittel erscheint das Wärmebild bei malignen Tumoren. So fand Cristofolini (24) bei 30 malignen Melanomen in 90% lokale Überwärmungen zwischen 1 und 4°C. Während der Temperaturanstieg jedoch weder mit dem Zelltyp noch mit der mitotischen Aktivität oder der Invasionsneigung korreliert, zeigte der Autor eine strenge Übereinstimmung zwischen Temperatur und TNM-Stadium. Die geringen Fallzahlen ermöglichen natürlich noch kein endgültiges Urteil, doch scheint sich hier die IRT als nützliches Diagnostikum anzubieten.

Ähnliche Ergebnisse erzielte auch Farell (37), der Untersuchungen bei 19 Patienten mit Osteosarkomen durchführte. Bei 14 Fällen bestand eine Übereinstimmung mit dem röntgenologischen Befund. Häufig wurden Metastasen mit der IRT ermittelt, bevor röntgenologische Befunde auftraten. Der Autor betont jedoch, daß eine Abgrenzung des Tumors von einer akuten Osteomyelitis nicht möglich ist, und daß sich in der IRT die Ausdehnung des Befundes größer darstellt als im Röntgenbild und in der klinischen Untersuchung. Einige Autoren sehen wegen dieser geringen Spezifität den Wert der IRT auch hauptsächlich darin, lediglich die Entscheidung der Amputationshöhe zu erleichtern (36).

6.3.4 Durchblutungsstörungen

Die Diagnose und Verlaufsbeobachtung von Durchblutungsstörungen ist eine Domäne der IRT. Schon 1969 schilderte Aarts (1) die morphologischen Grundlagen dazu, die bis heute die Basis aller Untersuchungen bilden. Dabei macht sich die Thermographie die Funktion des Blutes zunutze, als Transportmedium von Wärme zu dienen. Die Haut selber wirkt dabei als Isolator, so daß gemessene Hyperthermien immer aus tieferen Schichten oder aus dem Körperkern herantransportiert werden müssen (6.2).

Es wird schnell klar, daß die Wärmekarte der Haut nicht homogen sein kann, sondern durch ein kompliziertes Muster aus Normalisothermen bestehen muß, das sich abhängig von dem Verhältnis der darunterliegenden Gewebeanteile ausbildet.

Hier fallen individuelle Varianten sehr stark ins Gewicht, weshalb die IRT eine Arteriographie oder Phlebographie nie ersetzen kann, jedoch sehr gut zur belastungsfreien Verlaufskontrolle und zur Sicherung einer Mikroangiopathie geeignet ist.

Die Abkühlung über einer minderdurchbluteten Gliedmaße bei Arterienverschlüssen als eines der am häufigsten beobachteten Zeichen läßt sich im Thermogramm direkt darstellen. Damit können die Lokalisation und die Ausdehnung sehr gut beurteilt werden (3). Bei seitengleichen Verschlüssen läßt sich im Wärmemuster jedoch keine Differenz erkennen und die Wärmeverteilung bei gesunden Personen muß zur Beurteilung herangezogen werden. Einige Untersuchungen machen besonders auf das typische Muster der Haut im Bereich eines Kollateralkreislaufes bei Verschluß einer großen Arterie aufmerksam, nämlich eine Hyperthermiezone (51). Auch die lokale Vaskularisation der Haut, arterielle Ulcerationen, die im Gegensatz zu den venösen Ulcera kalt sind, sowie die Ausdehnung einer Gangrän lassen sich thermographisch gut beurteilen (3). Bei der diabetischen Angiopathie ist die Diskrepanz zwischen den kalten Zehen und den warmen Füßen und Unterschenkeln eindrucksvoll. Der Temperaturunterschied kann hier mehrere Grad Celsius betragen (3).

Die IRT beim Raynaud-Syndrom und beim Morbus Raynaud zeigt deutliche Unterschiede zwischen dem funktionellen Stadium und dem Stadium mit Organläsion. Im funktionellen Stadium werden konzentrische Zonen mit abfallender Temperatur vom Handrücken bis zu den Fingerspitzen registriert. Die Temperaturdifferenzen erreichen mehrere Grad Celsius, so daß die Finger im Thermogramm oft amputiert erscheinen. Die Wiedererwärmung nach Kälteexposition bis zur Ausgangslage im Thermogramm, die bei gesunden Personen im Mittel 15 Minuten dauert, beträgt beim Raynaud-Syndrom im Mittel 40 Minuten (2). Im Stadium der organischen Läsion beobachtet man dagegen unregelmäßig angeordnete kalte Zonen, die entsprechend den auch angiographisch nachweisbaren Läsionen verteilt sind.

Das Krankheitsbild der Sudeck'schen Dystrophie geht als neurovaskuläres Geschehen mit einer Veränderung der Durchblutungsverhältnisse einher. Deshalb kann hier die Thermographie zur Früherkennung und zur Kontrolle des

Krankheitsverlaufes eingesetzt werden (69). Dabei empfiehlt es sich, den von Koob (70) beschriebenen Complamintest vorzunehmen, insbesondere dann, wenn das klinisch noch nicht manifeste Frühstadium erfaßt werden soll. Nach Infusion des gefäßerweiternden Medikaments Complamin (Xantinolnukotinat) in die Cubitalvene des gesunden Armes zeigt sich im akuten Stadium an der erkrankten Hand über einen Zeitraum von 30 Minuten eine deutliche Hyperthermie. Die gesunde Hand weist dagegen keine wesentliche Änderung der Oberflächentemperatur auf. Bei gleicher Versuchsanordnung zeigen Patienten mit Sudeck'scher Dystrophie im dystrophischen Stadium keine Änderung der Oberflächentemperatur der kranken Hand, jedoch eine sehr ausgeprägte Hyperthermie der gesunden Hand. Es ist hier nötig, mit aufsteigenden Dosen Complamin zu arbeiten, um die Stadien voneinander und vom nicht-pathologischen Zustand sicher trennen zu können.

In der orthopädischen Chirurgie liegt der besondere Wert der IRT in der Früherkennung von postoperativen Thrombosen und Thrombophlebitiden. Dabei kann bei tiefen Venenthrombosen ein generalisierter Temperaturanstieg über der betroffenen Gliedmaße nachgewiesen werden (22). Dadurch lassen sich Thrombosen der Becken-Bein-Venen differentialdiagnostisch gegenüber lokalisierten Läsionen abgrenzen, bei denen die Hyperthermiezone scharf gegenüber der normalwarmen Haut demarkiert ist. Bereits vor Auftreten klinischer Symptome lassen sich tiefe Venenthrombosen thermographisch entdecken. Ebenso kann das Fortschreiten einer Thrombose der oberflächlichen zu den tiefen Venen oder zu den Beckenvenen im Wärmebild erfaßt werden. Die Effektivität einer Thrombolyse oder der Verlauf nach operativer Ausräumung von Thrombosen kann natürlich ebenfalls gefahrlos kontrolliert werden. Einige Autoren geben sogar die IRT als Mittel zur Lokalisation insuffizienter Venae perforantes bei Varikosis an (85).

Schließlich liegt wohl eine noch gar nicht abzusehende, wenngleich umstrittene Bedeutung der IRT im Bereich der Intensivbehandlung von Patienten mit Verbrennungen. Dabei können sowohl leichte Verbrennungen vor dem klinischen Stadium anhand ihrer deutlichen Hyperthermie erkannt werden, als auch Nekrosezonen deutlich vom vitalen Gewebe differenziert werden. Dies ist besonders wichtig für die Indikation von eventuellen Hauttransplantationen und die Überwachung der Vitalität dieser Plastiken (31).

6.4. Fehlerquellen

Grundsätzliches zu dem hier Erwähnten geht bereits aus Kapitel 6.2 hervor, da bei Nichtbeachtung oder Fehleinschätzung physikalischer Voraussetzungen ein Verfahren ungenau wird. Dennoch sollen die Fehlerquellen und ihre eventuelle Korrektur oder Ausschaltung im einzelnen genau erläutert werden.

6.4.1 Kamera

Hier besteht die Fehlergefahr für den Untersucher vor allem in der unzureichenden Kenntnis der Kameraspezifitäten bzw. in der Überbewertung ihrer Fähigkeiten.

An erster Stelle steht die thermische und geometrische Bildauflösung. Die räumliche Auflösung kann leicht anhand eines Vergleichsbildes beurteilt werden und der Untersucher kann selbst einschätzen, welche Grenzen ihm die Kamera bei der Suche nach extrem kleinflächigen Temperaturunterschieden setzt (23). Dabei sind die Fähigkeiten heutiger Kameras meist so groß, daß die doch relativ großflächigen Hautbilder ohne Schwierigkeiten aufgenommen werden können, solange der Rumpf oder die Extremitäten das Untersuchungsziel sind. Lediglich bei Gesichtsaufnahmen mit vielen direkt benachbarten Strukturen wird die normale Auflösung ihre Grenzen erreichen.

Die thermische Auflösung darf nicht verwechselt werden mit der Genauigkeit der angezeigten Temperatur und diese ist bei den heutigen Geräten keine problematische Größe mehr. Sie liegt meist deutlich unter $0,1^{\circ}\text{C}$ und ist damit kleiner als sinnvoll meßbare Temperaturunterschiede auf der Hautoberfläche. Von größerer Bedeutung für die Beurteilung des möglichen Fehlers ist die Genauigkeit der angezeigten Absoluttemperatur der Kamera, da hier nur die Kenntnis der spezifischen Kamera gewonnene Ergebnisse interpretieren läßt. Da Differenztemperaturen meist genauer angegeben werden als Absoluttemperaturen (6.2), empfiehlt sich der Gebrauch eines Referenzstrahlers mit definierter Temperatur und dem menschlichen Körper möglichst ähnlichem Emissionskoeffizienten.

Dies ist jedoch nur nötig, wenn auf Absoluttemperaturen zurückgerechnet werden soll. Da es große physiologische, interindividuelle Schwankungen bezüglich der Hautoberflächentemperatur gibt, eliminiert man diese Fehler am besten durch Differenztemperaturen zwischen definierten Arealen auf der Haut jedes Patienten.

Schließlich gilt es auch noch die thermische Stabilität einer Kamera zu beachten. So können sich nach langer Betriebsdauer und unter ungünstigen Bedingungen wie hoher Luftfeuchtigkeit oder wechselnden Raumtemperaturen die angezeigten Absoluttemperaturen ändern. Folglich ist der Untersucher gezwungen, nach jeder Inbetriebnahme einer Thermokamera und dann jede Stunde die wahre Temperatur eines Referenzstrahlers mit der angezeigten zu vergleichen (35). Auch hier kann jedoch die Prozedur vereinfacht und das Resultat verbessert werden, wenn Differenztemperaturen erhoben werden, die von der Kamera intern errechnet werden und daher keinen Verschiebungen unterliegen.

6.4.2 Raum

Eine exakte Klimatisierung des Untersuchungsraumes ist unabdingbare Voraussetzung für interpretierbare Thermogramme (32). Auch hier wurden Grundbegriffe schon in Kapitel 6.2 erläutert, die hier aber ebenfalls noch einmal angerissen werden sollen. Die Grenzen der Absoluttemperaturen des Untersuchungsraumes liegen zwischen 18 und 24°C und entsprechen damit in etwa dem thermischen Neutralbereich einer leichtbekleideten Person (98). Unterhalb dieser Temperatur muß der Körper Energie aufwenden, um die eigene Temperatur konstant zu halten. Es findet also bereits eine Umverteilung der Durchblutung und damit der Wärmeabstrahlung in Richtung Körperkern statt, wodurch periphere Minderdurchblutung vorgetäuscht oder sogar entzündliche Herde kaschiert werden können. Oberhalb des Indifferenzbereiches neigt der Körper dazu, forciert Wärme abzugeben, und es entstehen über gut vaskularisierten Arealen der Hautoberfläche hypertherme Zonen. Dadurch wird die Interpretierbarkeit nicht nur lokal gestört, sondern das Thermogramm zeigt nicht zu beurteilende Abweichungen vom Normalbefund des betroffenen Hautareals.

Sehr empfindlich reagieren Thermogramme auf Temperaturschwankungen. Zum einen befindet sich dadurch der Patient nicht im steady state, leistet also Mehrarbeit zur Aufrechterhaltung der inneren Homöostase (98), die sich wie oben beschrieben auswirkt. Zum anderen wird die Kamera von den unterschiedlich großen Wärmestrahlungen von im Raum stehenden Gegenständen, selbst des eigenen Gehäuses, gestört. Man erkennt, daß die hier auftretenden Fehler in ihrer Interaktion nicht mehr zu kalkulieren sind, so daß die Forderung nach einer im Rahmen von $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ konstanten Raumtemperatur unbedingt erfüllt sein muß.

Die Windgeschwindigkeit soll nicht höher als 0,2 m pro Sekunde sein. Größere Luftbewegungen entziehen dem Körper Wärme und bringen ihn so aus dem Bereich der Indifferenztemperatur und des steady state. Damit entstehen Wärmeverluste besonders im Bereich schlecht isolierter Areale wie Knie- und Knöchelgelenk, die nicht von dickem Unterhautfettgewebe bedeckt sind. Gerade solche Bereiche sind der Thermographie gut zugänglich, und können als eine Art Mattscheibe für aus der Tiefe abgeführte Wärme dienen. Luftbewegungen im Raum können damit nicht nur lokal oberflächliche Hyperthermien, sondern auch tieferliegende entzündliche Prozesse kaschieren und zu einem falsch-normalen Thermogramm führen.

Räumliche Voraussetzungen für die beiden letztgenannten Punkte ist eine ausreichend große Arbeits- und Verkehrsfläche sowie Umkleide- und Vorkühlkabinen, um sich im Raum bewegend Menschen als Unruhefaktor für Temperatur- und Luftbewegung zu minimieren (32).

Die Luftfeuchtigkeit kann Einfluß auf Thermogramme ausüben, falls sie nicht im Bereich von 50-60% konstant gehalten wird. Durch sehr trockene, genauso wie durch zu feuchte Luft, gerät der Körper in thermische Schwierigkeiten, die er durch Erhöhung der Schweißabsonderung lösen kann. Die trockene Luft vermag den Schweiß sehr gut aufzunehmen und so für Verdunstungskälte und hypotherme Areale auf der Hautoberfläche zu sorgen, während der Feuchtigkeitsstau bei hoher Luftfeuchtigkeit zu globaler Hyperthermie führt. Im ersten Fall können Kontraste geschaffen oder verstärkt werden, während sie im "Tropenklima" unkenntlich gemacht werden.

Weitere räumliche Fehlerquellen können besonders Infrarotstrahler wie z.B. die Sonne sein. Daher sollte der Raum möglichst fensterlos sein oder zumindest nur komplett abschirmbare Nordfenster aufweisen. Ferner sollte die Klimaanlage extern angebracht sein und die Beleuchtung mit Leuchtstofflampen, also kaltem Licht, erfolgen.

6.4.3 Patient

Die sorgfältige Vorbereitung des Patienten ist eine zwar einfache, wegen ihrer Auswirkung auf das gemessene Wärmebild jedoch ungeheuer wichtige Aufgabe.

Grundvoraussetzung vor jeder Untersuchung ist die Akklimationisierung für mindestens 15 Minuten unter exakten Untersuchungsbedingungen. Der Patient muß also soweit wie zur Untersuchung notwendig entkleidet sein und sich möglichst entspannt am Ort der späteren Thermographie aufhalten. Der Untersucher kann diese Zeitspanne für eine Anamnese nutzen und gleichzeitig versuchen, den Patienten auch psychisch zu beurteilen, und, wenn nötig, zu beruhigen. Zum Zeitpunkt der Untersuchung soll sich der Patient im thermischen steady state befinden, wozu auch eine ruhige Stimmungslage beiträgt.

Ferner muß der Arzt überprüfen, ob mindestens seit einer Stunde vor der Aufnahme keine körperliche Anstrengung oder physikalische Therapie stattgefunden hat. Die dort beanspruchten Muskeln zeigen noch eine relativ lange Zeit nach Aktivitätsende im Thermogramm deutlich hypertherme Zonen.

Mindestens 2 Stunden vor der Untersuchung dürfen keine Salben oder Lösungen auf das zu untersuchende Areal aufgetragen worden sein. Beide Substanzen führen durch Isolation bzw. durch verstärkte Verdunstung direkt zur Abkühlung oder Erwärmung der Hautoberfläche, deren Ausmaß nicht geschätzt werden kann und die durch medikamentenbedingte Regulationsmechanismen weiter beeinflußt werden.

Aber nicht nur extern verabreichte, sondern ebenso innerlich wirkende Substanzen sollten für mindestens 2 Stunden vor der Aufnahme vermieden werden. An erster Stelle stehen hier vasoaktive Genußgifte wie der hyperämiesierende Alkohol und die in ihrer Wirkung nicht exakt einzuordnenden Stimulantien Kaffee und Nikotin, aber auch Medikamente wie z.B. Beta-Blocker oder Psychopharmaka. Schließlich sollte die Untersuchung nicht unmittelbar nach einer schweren Mahlzeit stattfinden, da die Blutumverteilung zur Kontrastminderung hyperthermer Areale führen kann.

6.4.4 Aufnahmen

Die Aufnahme sollte bei Verlaufskontrollen stets zur gleichen Tageszeit, am besten im Laufe des Vormittags erfolgen, da die Temperatur des Menschen einem circadianen Rhythmus unterliegt (98).

Ferner sollten die geometrischen Bedingungen nicht verändert werden. Der Abstand Kamera-Patient und der Aufnahmewinkel beeinflussen die Bildauflösung und können bei rein visueller Auswertung zu Fehlinterpretationen führen. Falls Umlenkspiegel nötig wären, sollten diese in der geometrisch neutralen 45°-Stellung zu Kamera und Patient angebracht werden und zur Vermeidung von Parallelverschiebung und Brechung im Glas oberflächenversilbert sein.

Von besonderer Bedeutung ist die einfache Forderung nach präziser Fokussierung. Unterlaufen dem Untersucher hier Fehler, ist nicht nur der geometrische Wert der Aufnahme reduziert, auch kamerainterne Parameter wie Auflösungsvermögen und thermische Exaktheit werden verständlicherweise negativ beeinflusst.

6.5 Kontraindikationen

Die Thermographie ist ein passives, nicht-invasives Verfahren, welches vom Körper ausgesandte Wärmestrahlen zu einem sichtbaren Bild verarbeitet. Daher kann von ihr keinerlei schädigende Wirkung ausgehen und es existieren folglich aus medizinischer Sicht keinerlei Kontraindikationen.

Trotzdem kann es natürlich unter Umständen sinnvoll sein, auf eine thermographische Untersuchung zu verzichten, falls die unter 6.2 und 6.4 erläuterten Voraussetzungen nicht erfüllt sind. Ein Thermogramm, welches nicht unter Standardbedingungen und bei gut vorbereitetem Patient erstellt wurde, ist zwar in keiner Weise schädlich, aber eben diagnostisch auch von geringem Wert.

6.6 Diskussion

Nach zaghaften und durch mangelnde technische Grundvoraussetzungen erschwerten Anfängen hat sich die IRT seit Anfang der 60er-Jahre in der Medizin immer mehr etabliert. Ihre Möglichkeiten wurden in fast allen Bereichen ärztlichen Handelns sondiert, allerdings meist in Form kasuistischer Beobachtungen oder unsystematischer Sammel-Untersuchungen. Lediglich bei der Diagnose von Veränderungen der weiblichen Brust hielt sie Einzug in die Routine-Diagnostik, doch dürfte gerade in der Betrachtung dicker Weichteilstrukturen nicht ihre Stärke liegen.

Aus dem Bereich der Orthopädie liegen bis jetzt ermutigende Berichte vor. Dabei dürfte der Vorteil der IRT die beliebige oft wiederholbare und belastungsfreie Verlaufskontrolle chronischer Erkrankungen und die Therapiekontrolle sein. Im Thermogramm gut erkennbare und beurteilbare Strukturen sollten nicht durch dicke Weichteilmäntel verdeckt sein, um den direkten Wärmetransport an die Oberfläche zu ermöglichen.

Es ist jedoch wichtig, bestimmte Grundvoraussetzungen bezüglich des Untersuchungsprocedere, der Vorbereitung des Patienten und der überhaupt möglichen Aussagekraft eines Thermogramms strikt zu beachten, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Damit ergeben sich für die IRT große Anwendungsmöglichkeiten bei weniger belastbaren Personen, wie Schwangeren oder Kindern, sowie speziell in der Orthopädie bei der Diagnose von Prozessen in direkt unter der Hautoberfläche liegenden Gelenken wie Knöchel, Hand- oder Kniegelenk.

7. Eigene thermographische Untersuchungen

Die eigenen thermographischen Untersuchungen wurden in der orthopädischen Klinik und Poliklinik des Universitätsklinikums Großhadern durchgeführt. Wir thermographierten Knie von insgesamt 128 Patienten, die sich aus unterschiedlichen Gründen einer diagnostischen oder therapeutischen Arthroskopie in unserem Haus unterzogen. Insgesamt 102 Patienten konnten vollständig nach unserem standardisierten Programm mit Thermographiediagnose und direkt anschließender Arthroskopie untersucht werden, von denen ein Teil zur Nachuntersuchung 6 Monate nach erfolgter Therapie noch einmal thermographiert werden konnte.

7.1 Gerät und Raum

Die Untersuchungen fanden in einem speziell zu diesem Zweck ausgerüsteten Raum statt. Es handelte sich dabei um einen fensterlosen Kellerraum, der völlig von fremder Infrarotstrahlung abgeschirmt werden konnte. Die Beleuchtung erfolgte mit Leuchtstoffröhren und die Klimaanlage war an das Haussystem angeschlossen, arbeitete also ohne direkten Kontakt mit dem Thermographieraum. Die Temperatur wurde bei einem Wert von $22 \pm 0,5^\circ\text{C}$ konstant gehalten und die Windgeschwindigkeit betrug weniger als 0,2 Meter pro Sekunde. Die Luftfeuchtigkeit lag bei constant gehaltenen $55 \pm 5\%$, sodaß die Standardkriterien für thermographische Untersuchungen erfüllt werden konnten. Die Größe des Raumes von 20 qm schaffte zusätzlichen Puffer gegen Klimaschwankungen, die in kleinen Räumen durch die Körperwärme von Untersucher und Patient auftreten können. In großen Räumen kann jedoch die Wärmebelastung von ca. 100 Watt pro Person über das relativ große Luftvolumen zugfrei durch die Klimaanlage abgeführt werden. Ferner verfügt unsere Thermographieeinheit über einen separaten Umkleide- und Waschraum, der als Vorkühler und damit als Wärmeschleuse wirken kann (32).

Als Kamera verwendeten wir das Philips-Thermographie-System 9814 110 50609, welches eine hochauflösende Infrarotkamera mit motorgesteuertem Schwenk- und Neigekopf, ein getrenntes Bedienungspult und ein digitales

Bilderzeugungs-System mit 14"-Farbbildschirm umfaßt. Für photographische Aufzeichnungen standen sowohl eine Sofortbildkamera vom Typ Polaroid SX-70, als auch eine Spiegelreflexkamera zur Verfügung.

Alle folgenden Angaben zum Gerät entstammen den technischen Unterlagen der Firma Philips.

Der Detektor arbeitet mit einem InSb-Photovoltaic-Element, das mit flüssigem Stickstoff gekühlt wird und im Wellenbereich von $3-5 \times 10^{-6}$ m arbeitet. Die thermische Auflösung beträgt $0,08^{\circ}\text{C}$ und ist damit für orthopädische Zwecke sehr gut geeignet, da Temperaturdifferenzen frühestens ab $0,5^{\circ}\text{C}$ klinischen Aussagewert erhalten.

Die räumliche Auflösung beträgt $0,002$ rad und stellt damit bei einer Aufnahmeentfernung von ca. $0,5$ Metern und dem relativ großflächigen Temperaturverlauf am Bein ebensowenig einen begrenzenden Faktor dar.

Die Bildfrequenz liegt bei $1/\text{sec.}$ und ermöglicht so die schnelle Erfassung etwaiger Temperaturänderungen auch bei laufender Untersuchung. Der hochauflösende Kamerakopf ist beweglich gelagert und kann vom Bedienpult aus motorgetrieben bewegt werden. Dabei umfaßt die Schwenkung $\pm 100^{\circ}$ und die Neigung $\pm 25^{\circ}$, so daß damit geometrisch identische Aufnahmebedingungen eingehalten werden konnten.

Das Anzeigesystem ermöglicht durch eine hohe Auflösung der Bildelemente von 6 Bit (entspricht 60 Graustufen) und des Digitizers von 8 Bit für thermische Profile eine sehr differenzierte Darstellung. Der Meßbereich läßt sich in seinem Umfang zwischen 2°C und 15°C variieren, der "black-level" kann stufenlos zwischen 15°C und 40°C einjustiert werden. Für unsere Untersuchungen wählten wir einen Meßbereich von 6°C und erhielten bei Farbbildwiedergabe einen Sprung von $0,6^{\circ}\text{C}$ zwischen den einzelnen Farben. Damit können alle am Knie auftretenden Hyperthermien erfaßt werden und der Betrachter erhält bei optischer Auswertung ein gut differenziertes Bild. Der Bildschirm kann sowohl ein Wärmebild in Farbstufen als auch eines in Graustufen produzieren.

Abb. 11 Untersuchungsraum und Kamera. Im Vordergrund die Patientenliege und seitlich daneben die auf die Knie focussierte Kamera. Im Hintergrund Bedienpult und Bildschirm

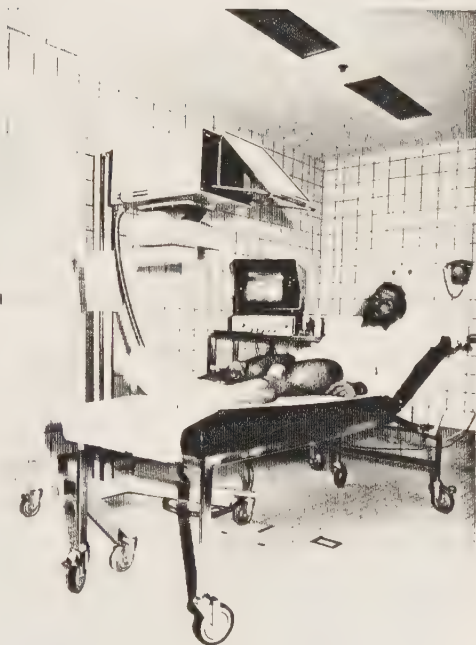
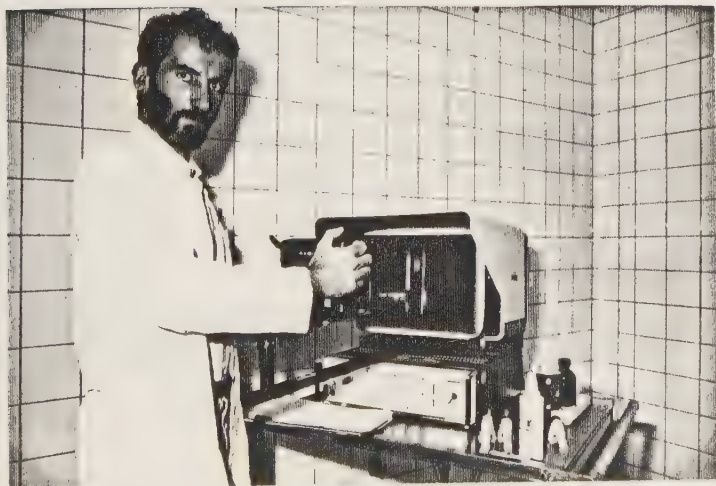


Abb. 12 Der Untersucher mit am Bildschirm angesetzter Polaroid-Kamera.



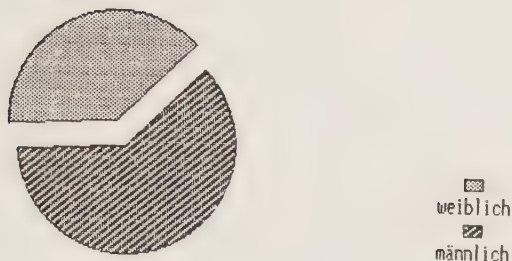
Letzteres ermöglicht es, farbige Isothermen in die Anzeige zu legen. Die Genauigkeit der Isothermen liegt bei $\pm 1,5\%$ des eingestellten Bereiches und damit bei unseren Messungen bei $\pm 0,09^{\circ}\text{C}$.

Die angezeigte Absoluttemperatur erreichte eine Genauigkeit von $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, während die Isothermen-Differenz, die der systemeigene Computer automatisch aus zwei ins Bild gelegten Isothermen berechnet, bei $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ liegt. Unsere Temperaturdaten wurden alle mit letzterer Methode ermittelt, da sie nicht nur genauer ist, sondern absolute Temperaturen keine große Bedeutung angesichts der individuell verschiedenen Hauttemperaturen haben.

7.2 Patientenkollektiv

Da wir eine Kontrolle unserer thermographisch erhobenen Ergebnisse durch ein objektives Verfahren anstrebten, kamen die im Rahmen dieser Studie untersuchten Patienten alle mit klarer Indikationsstellung zur Arthroskopie in die orthopädische Klinik oder Poliklinik. Dadurch gelang es uns nicht, eine größere Anzahl frischer Verletzungen zu thermographieren, da die Stellung des Universitätsklinikums Großhadern als übergeordnetes Zentrum ein selektioniertes Krankengut bedingt. Notfall-Arthroskopien konnten aus verständlichen Gründen ebenfalls nicht vorher einer 20-30 Minuten dauernden Untersuchung unterzogen werden und ein postoperatives Wärmebild ist durch die während der Operation gesetzten Reize nicht mehr interpretierbar oder vergleichbar. Aus diesen Gründen konnten von den insgesamt 128 im Verlauf dieser Studie thermographierten Patienten nur 102 in die Arbeit aufgenommen werden. Bei dieser Gruppe fand die Arthroskopie direkt im Anschluß an die Thermographie statt und es lag ein Arthrographie-Befund vor.

Die männlichen Patienten waren zahlenmäßig mit 60 gegenüber 42 Frauen leicht in der Überzahl (Abb. 13). Die Altersverteilung zeigte einen typischen Verlauf (Abb. 14):



Geschlechtsverteilung

Abb. 13 Geschlechtsverhältnis in Prozent
 n (männlich) = 62, n (weiblich) = 40

Weitaus die meisten Patienten entstammen entweder der sportlichaktiven Altersgruppe zwischen 21 und 35 Jahren oder der Gruppe zwischen 36 und 50 Jahren, die zwar noch aktiv sind aber doch schon zusätzlich erhebliche Verschleißprobleme haben. Damit entsprechen diese Verhältnisse denen in Berichten der meisten anderen Beobachter über Untersuchungen an Meniskuläsionen oder Knie-Knorpelschäden (57). Immerhin konnten wir doch 10 Patienten unter 20 Jahren und 5 über 63 Jahren direkt vor dem arthroskopischen Eingriff thermographieren, wobei die jüngste Patientin 11 Jahre und die älteste 75 Jahre war.

Das Durchschnittsalter betrug 36,7 Jahre (Standardabweichung = 14,9 Jahre) und unterschied sich nicht signifikant (p kleiner 0,1) vom Durchschnittsalter der männlichen mit 35,3 Jahren und der weiblichen Patienten mit 38,8 Jahren.

Bei der Betrachtung des Verletzungsalters fällt auf, daß offensichtlich immer noch viel zu viele Knieprobleme verschleppt werden (Abb. 15). Nur drei Patienten (2,9%) erreichten unsere Klinik innerhalb der ersten 14 Tage nach dem Unfall - oder Schmerzereignis, das als Auslöser für die entstandene Verletzung ermittelt wurde.

Häufigkeit (%)

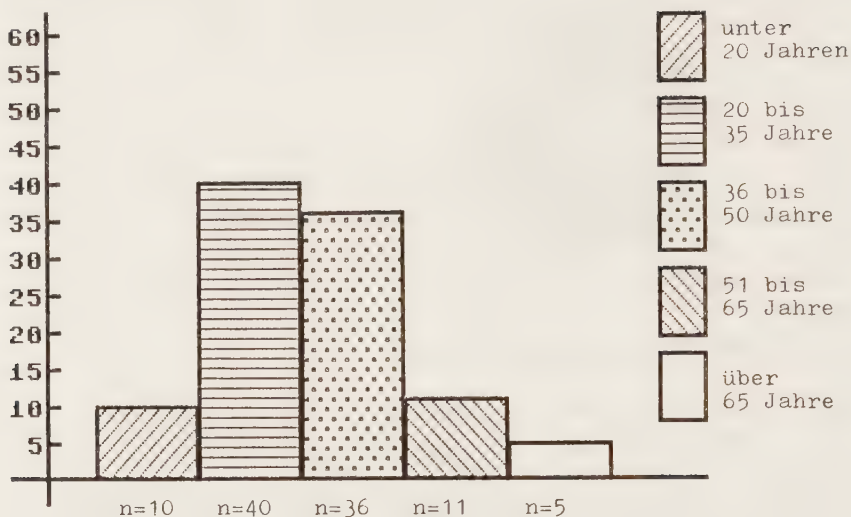


Abb. 14 Alter der von uns untersuchten 102 Patienten

Häufigkeit (%)

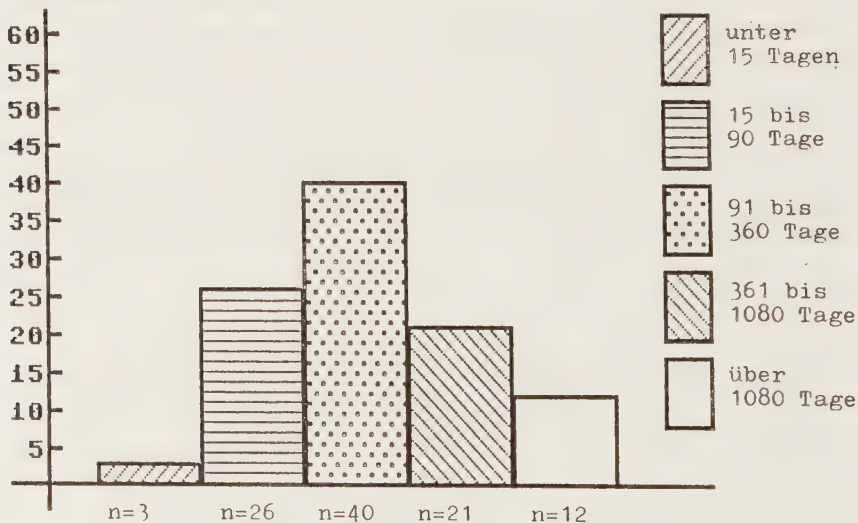


Abb. 15 Verletzungsalter der von uns untersuchten 102 Patienten

Immerhin kamen 29 Patienten (28,4%) innerhalb von drei Monaten zur endgültigen arthroskopischen Diagnose, während 33 (32,4%) länger als ein Jahr Probleme hatten. Das mittlere Verletzungsalter betrug sogar 448 Tage, und Anamnesen von bis zu fünf Jahren konnten bei 12 Untersuchten (11,8%) erfragt werden. Problematisch muß hier jedoch die Frage bleiben, ob es sich bei diesen Krankengeschichten nur um das jetzt diagnostizierte, isolierte Ereignis handelte, oder ob nicht leichte Schäden verschleppt wurden und sekundär zum jetzt vorliegenden Ereignis führten. Dies trifft aber nicht zu auf die Hauptgruppe der Patienten (39,2%), deren Unfallereignis zwischen 3 und 12 Monate alt ist und die in dieser Zeit ständig in ärztlicher Behandlung standen. Gerade hier erhoffen wir uns von der Thermographie als schnelles, preisgünstiges und ungefährliches Screening-Diagnostikum eine Entscheidungshilfe, ob der Patient arthroskopiert werden soll oder nicht.

7.3 Kontrollgruppe

Ein Standardbild des gesunden Kniegelenks bei der IRT konnte bis jetzt von keinem Untersucher vorgelegt werden. Daher thermographierten wir 12 Probanden (24 gesunde Knie), die klinisch und subjektiv völlig unauffällig waren und unterwarfen sie dem gleichen Untersuchungsablauf (siehe 7.4) wie die Patienten. Das Geschlechtsverhältnis lag mit 4 Frauen und 8 Männern ähnlich dem der Patientengruppe, lediglich das Durchschnittsalter lag mit 24,1 Jahren signifikant (p kleiner 0,01) tiefer. Bis jetzt gibt es von keinem Autor Hinweise darauf, daß sich das Temperaturmuster des Kniegelenks mit zunehmendem Alter signifikant ändert. Differenzen können jedoch in der Grundtemperatur des gesamten Beines auftreten ohne sich negativ auf unsere Untersuchungen auszuwirken, da stets mit Temperaturdifferenzen zur Grundtemperatur oder zum anderen Bein gearbeitet wurde. Die prinzipiell typischen Thermogramme der Kniegelenksregion zeigen alle einen großflächigen, weitgehend konstanten Temperaturbereich über Ober- und Unterschenkel mit 31 bis 32°C Hauttemperatur. Die gesunde Knieregion wirkt stets kühler, da hier wärmeproduzierende Muskeln und, bis auf den Kniekehlenbereich, größere Gefäße fehlen. Die reizlose Patella stellt eine Art Hitzeschild dar und markiert mit 29-30°C den kühlpsten Punkt des Beines (Abb. 16).

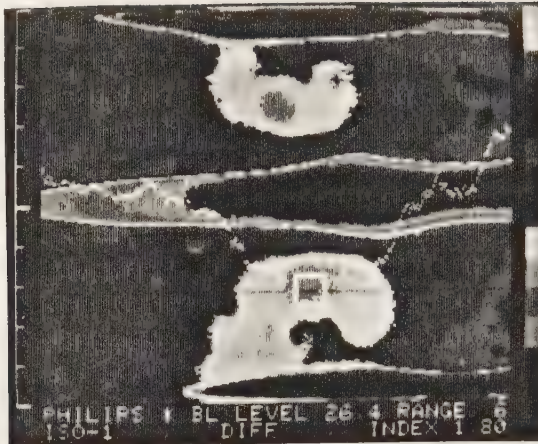
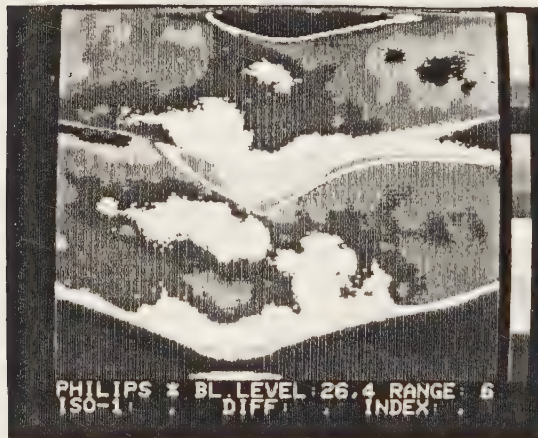


Abb. 16

Thermogramm von
reizlosen Kniegelenken

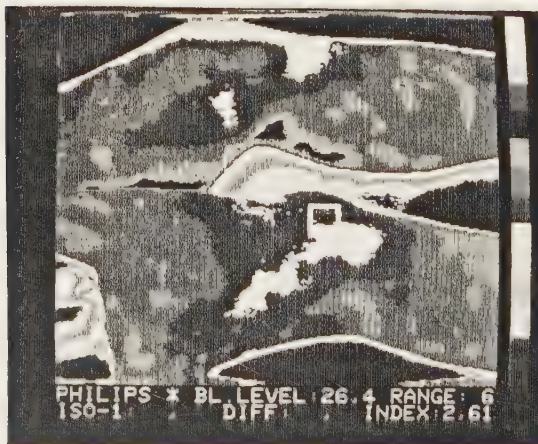
a) von anterior

Deutlich erkennbar ist
die kühle Kniescheibe.



b) von seitlich

Deutlich erkennbar ist
sowohl die kühle Patella
als auch der kühle Be-
reich über dem Kniege-
lenkspalt.



c) von seitlich

Am unteren (rechten)
Knie erscheint die
Patella nicht ganz so
kalt wie am oberen.
Unterschiede dieser Art
sind physiologisch und
ohne diagnostische
Bedeutung.

Den Beweis dafür kann diese Studie selbst erbringen, denn die Mittelwerte der Grundtemperaturen der Kontrollgruppe, von Patienten mit arthroskopisch gesicherten Meniskus-, Kreuzband- oder Knorpelläsionen, und von arthroskopisch unauffälligen Patienten, unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Abb. 17). Dabei lagen die Absoluttemperaturen zwischen 31,05°C für arthroskopisch unauffällige Patienten und 31,52°C für die Kontrollgruppe bei einer Standardabweichung zwischen 0,71 und 0,83°C.

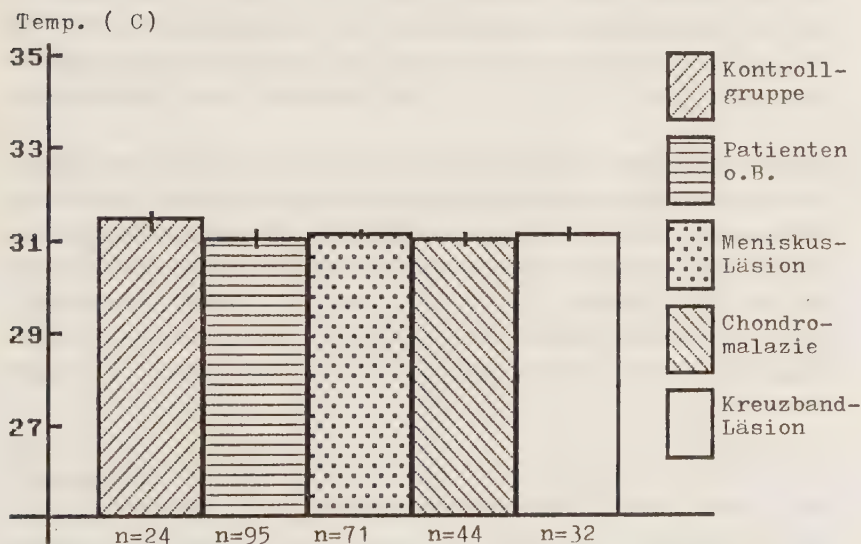


Abb. 17 Mittelwerte der Oberschenkel-Grundtemperaturen der Kontrollgruppe
Die Fehlerbalken entsprechen der Standardabweichung des Mittelwertes
(SEM = standard error of the mean).

7.4 Untersuchungsablauf

Sämtliche Patienten befanden sich vor der Untersuchung bereits im Hause, sei es in stationärer Behandlung oder in der poliklinischen Ambulanz. Daher konnte gesichert werden, daß in den letzten zwei Stunden vor der Untersuchung keine körperliche Anstrengung erfolgte, die zur Überwärmung und zu nicht interpretierbaren Thermogrammen führen könnte. Im Untersuchungsraum selbst wurde streng darauf geachtet, daß eine mindestens 15-minütige Akklimatisationsphase exakt unter Meßbedingungen eingehalten wurde. Die Patienten lagen dazu entkleidet auf der Untersuchungsliege, während eine kurze Anamnese erhoben wurde. Dabei fragten wir nach Abklärung der identifizierenden Daten gezielt nach Verletzungsmechanismus und Verletzungsalter und den bisher erfolgten Diagnose- und Therapiemaßnahmen.

Besonderer Wert wurde darauf gelegt, daß die Patienten nicht von krankengymnastischer Übung kamen oder die Knie durch eng sitzende Verbände überwärmt waren. Ebenso durften keine gefäßaktiven Substanzen wie Alkohol, Nikotin, Kaffee oder Medikamente am Morgen vor der Untersuchung eingenommen worden sein (siehe 6.4). Konnte hier nicht von Standardbedingungen ausgegangen werden, so wurde die Thermographie, falls möglich, verschoben, oder sie wurde zwar durchgeführt, aber nicht in diese Studie aufgenommen.

Bei der Untersuchung selbst wurde mit laufender Kamera so lange gewartet, bis in jeder der drei Aufnahmepositionen keine Temperaturänderung mehr auftrat. Messungen wurden sowohl von anterior als auch von lateral und medial ausgeführt, nicht jedoch von dorsal, da die Gefäß- und Bindegewebsstraße der Kniekehle keinen Wärmetransport an die Hautoberfläche erwarten läßt (40).

Bei den Messungen wurde zuerst die Grundtemperatur im Absolutbetrag festgehalten. Dabei wurde jeweils ein Bereich als Meßareal gewählt, der sich auf die Vorderseite des Oberschenkels in der Mitte zwischen Patella

und Leiste befindet. In diesem Areal findet sich nach unseren Erfahrungen eine sehr großflächige Temperaturverteilung, die weder von Prozessen der Kniegelenksregion noch von der Gefäßwärme des Leistenbereichs beeinflusst wird. Danach legten wir jeweils eine Isotherme auf diese Grundtemperatur, und suchten mit der anderen im Hautareal, in dem sich das Kniegelenk projiziert, nach überwärmten Stellen. Diese Differenztemperatur ermittelten wir getrennt für jedes Bein jeweils von anterior, medial und lateral und konnten dabei von sehr hoher Präzision ausgehen (siehe 7.1).

Es gelang uns, 18 Patienten (17,6%) sechs Monate nach erfolgter Therapie zu einer thermographischen Kontrolluntersuchung einzubestellen, und sie einer erneuten Untersuchung in der oben geschilderten Weise zu unterziehen.

Zur Auswertung zogen wir sowohl die gewonnenen Photographien der Wärmebilder als auch die gespeicherten Daten heran. Bei der Betrachtung der Wärmebilder wurde anhand der in Farben kodierte Temperaturbereiche entschieden, ob für den geschulten Betrachter eine deutliche Hyperthermie über der Hautprojektion des Kniegelenks bzw. der Patella erkennbar ist. Als Vergleich diente dabei zum einen das gesunde Bein des Patienten, zum anderen die Standard-Wärmebilder der 24 gesunden Knie. Die thermographischen Daten konnten mit der zur Verfügung stehenden Software gespeichert, gegeneinander verrechnet und dann mittels T-Test für verbundene bzw. unverbundene Stichproben auf Signifikanz untersucht werden.

Für die durchgeführten statistischen Tests bildeten wir vier Gruppen. Zum einen teilten wir die Ergebnisse danach ein, ob sie an dem Bein gewonnen wurden, welches Beschwerden machte und Grund für die Vorstellung in der Klinik war, oder am subjektiv und klinisch gesunden Bein. Diese beiden Gruppen wurden schließlich nach dem objektiven arthroskopischen Befund geteilt.

Es ergab sich also die Gruppe der arthroskopierte Knie mit positivem und mit negativem Befund und die Gruppe der nicht arthroskopierte Knie, die aber ebenfalls nach dem positiven oder negativen Befund des jeweils anderen

geordnet blieben. Auf diese Weise konnte getestet werden, ob sich signifikante Unterschiede bei den arthroskopierten Knien zwischen gesund und krank zeigten. Auf der anderen Seite überprüften wir mit der Gruppe der nicht arthroskopierten Knie, ob diese eventuellen Unterschiede nicht vielleicht doch, unabhängig vom pathologischen Befund, von unterschiedlichen Hauttemperaturen herrührten.

Unser Auswertungsschema ist also zum einen auf die Gewinnung statistisch einwandfreier Daten ausgerichtet, zum anderen wurden diese Daten im nächsten Schritt auf ihre Aussagekraft hin überprüft.

7.5 Dokumentation und Auswertung

Wir entwickelten einen standardisierten, computergängigen Protokollbogen, auf dem alle wichtigen Befunde verzeichnet wurden (Abb. 18). Besonderer Wert wurde auf eine kurze, aber vollständige Anamnese gelegt, sowie auf die Dokumentation der eigenen Untersuchungen von Patella-Druckschmerz und Zohlen-Zeichen. Die Meßwerte der Thermographiekamera wurden getrennt nach Aufnahme-richtung und untersuchtem Bein notiert. Ferner wurden genau die äußeren Bedingungen, wie Aufnahmeabstand und Raumtemperatur, sowie die Einstell-daten der Kamera, wie "black-level" und Meßbereich, dokumentiert.

Als Software verwendeten wir "Framework II" von Ashton Tate. Damit konnten wir schnell Daten speichern, in tabellarischer Form wieder abrufen und einfache Verrechnungen wie die Ermittlung von Seitendifferenzen (rechts zu links) ausführen. Ferner erlaubte es dieses Programm auch, einfache Graphiken anzufertigen. Außerdem benützten wir zur Unterstützung der subjektiven, optischen Auswertung eine Polaroid-Kamera SX-70 mit Spezialfilm als direktes Zubehör des Philips-Thermographie-Systems, sowie eine Canon-Spiegelreflex-Kamera mit Kodak 24 DIN Farb-Dia-Film. Damit entstanden die in dieser Arbeit vorgelegten Aufnahmen.

Abb. 18 (siehe nächste Seite) Standardisiertes Thermographieprotokoll, das sich bei unseren Untersuchungen gut bewährt hat.

THERMOGRAPHIE-PROTOKOLL

Datum.....

Angaben zum Patienten

- Name:
- Station:
- Geburtsdatum:
- klinische Diagnose:
- arthrographische Diagnose:
- Patella-Druckschmerz:
- Zehen-Zeichen:
- Anamnese:

Angaben zur Thermographie

Aufnahme-Abstand: black-level:

Raum-Temperatur : Meßbereich :

Grundtemperatur - betroffenes Bein:

- gesundes Bein :

	vorne		lateral		medial	
	re	li	re	li	re	li
Temp.-Diff. zur Grund.-Temp.						

7.6 Kontrolle durch Arthroskopie

Wir führten alle IRT-Untersuchungen direkt vor einer diagnostischen oder therapeutischen Arthroskopie in unserem Hause durch. Durch die Arthroskopie erhielten wir objektive Befunde über Existenz und Typ einer Meniskusverletzung, einer Chondromalacia patellae oder einer Kreuzbandläsion. Dabei wurde das retropatellare Knorpelbild in einem modifizierten Schema nach Outerbridge angegeben (siehe 5.2.3). Nur die Grade II oder III wurden hier als positiv gewertet, um falsch-positive Aussagen durch den Aquarium-Effekt zu vermeiden.

Die Arthroskopie-Befunde dienten als Grundlage zur Beurteilung der Trefferquote für Thermographie und Arthrographie, da sie nach Übereinstimmung der Meinung mit einer Zuverlässigkeit von mindestens 95% bei erfahrenen Operateuren das z.Z. bei weitem sicherste Diagnostikum des Kniegelenks darstellen.

7.7 Fehlerquellen

Wir bemühten uns, die Bedingungen so konstant und standardisiert wie möglich zu halten.

Dennoch sind sowohl Fehler durch veränderte Bedingungen wie durch nicht ordnungsgemäß vorbereitete Patienten denkbar.

Die Temperaturkonstanz der Kamera prüften wir durch Vergleich der Anzeige mit einem Körper bekannter und konstanter Temperatur (Referenzstrahler) an jedem Untersuchungstag. Denkbar wären dennoch Schwankungen im Laufe der Messungen, die dann jedoch in erster Linie die Genauigkeit der absoluten Temperaturen und nicht so stark die von uns benutzten Differenztemperaturen betreffen würden. Ein vollständiges Verdunsten des kühlenden Stickstoffes aus dem Dewar-Gefäß der Kamera wird sofort bemerkt, da dann die gesamte Anzeige plötzlich um mehr als 10°C wärmere Temperaturen anzeigt.

Die Konstanz der Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit wurde von der ständig laufenden Hausanlage geregelt und zusätzlich vor jeder Untersuchung kontrolliert. Auch hier sind kurzzeitige Schwankungen durch sich im Raum aufhaltende Personen wie Patient und Untersucher denkbar, aber wegen der Größe der Thermographieeinheit von mehr als 30qm praktisch nicht relevant.

Schließlich ist nicht auszuschließen, daß Patienten falsche Angaben über die Zeit vor der Untersuchung gemacht haben, was die körperliche Belastung oder die Einnahme von Medikamenten bzw. gefäßaktiven Substanzen betrifft. Dies könnte zu sporadisch falschen Ergebnissen führen und zwar in erster Linie bei ambulanten Patienten, da jeder stationäre Patient vom Untersucher selbst abgeholt wurde und dort die Voraussetzungen in direktem Kontakt mit dem Personal abgeklärt wurden. Die ambulanten Patienten machten insgesamt nur ca. 15% unseres Krankengutes aus.

Die Geometrie der Aufnahme, wie Abstand Kamera-Patient oder Blickwinkel, konnten durch den höhenverstellbaren und voll schwenk- und kippbaren Kamerakopf unseres Thermographie-Systems konstant gehalten werden.

Systematische Fehler können sich aus zwei Gründen eingestellt haben. Zum einen konnten die Untersuchungen bedingt durch den laufenden Stationsbetrieb nur am Nachmittag und nicht in der günstigsten Zeit zwischen 9 und 12 Uhr vormittags durchgeführt werden. Wir achteten jedoch darauf, daß wir die Patienten ebenfalls im konstanten Zeitraum von 14.30 bis 18.30 Uhr untersuchten, so daß dieser Fehler alle Ergebnisse sowie die ebenfalls am späten Nachmittag ermittelten Kontrollgruppen-Werte betreffen würden.

Zum Zweiten empfehlen manche Autoren (35) eine Raumtemperatur von 18-19°C um hypertherme Prozesse zu entdecken. Diese kühle Umgebung wollten wir unseren zum Teil älteren Patienten nicht zumuten, da sie sich in jedem Fall mindestens 20 Minuten teilweise unbekleidet und bewegungslos in diesem Raum aufhalten mußten.

Um so zuverlässiger sind jedoch die von uns ermittelten Ergebnisse, da die Raumtemperatur von $22 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ Standardbedingungen entspricht (80, 63) und lediglich die Identifikation von Hyperthermien etwas erschwert ist. Die hier gewonnenen Ergebnisse verschenken also zum Wohl des Patienten einen Teil der Möglichkeiten der IRT und könnten bei kühlerer Umgebung eventuell etwas deutlicher ausfallen.

8. Diagnostische Wertigkeit

8.1 Meniskusläsionen

8.1.1 Optische Auswertung

Um ein eventuell pathologisches Thermogramm des Kniegelenks erkennen und beurteilen zu können, muß der Beurteilende genaue Kenntnisse über das nicht pathologische Wärmebild des Kniegelenks besitzen (siehe 7.3). Die sich darüber projizierende Hautoberfläche zeichnet sich durch eine im Vergleich zum übrigen Bein 1 bis 3°C kühlere Zone aus. Die Patella selbst wirkt als Hitzeschild für aus der Tiefe transportierte Wärme, ist im reizlosen Zustand sparsam perfundiert und damit erscheint die Haut über ihr als kältester Punkt des gesamten Beines.

Führt ein Meniskusschaden zur Reizung und damit zur entzündlichen Hyperperfusion der Synovialis dieses Bereiches sowie der äußeren Meniskusanteile selber, so kann diese Mehrwärme direkt an die Hautoberfläche abgegeben werden. Der Betrachter sieht im typischen Fall in der lateralen und medialen Projektion des Gelenkspaltes eine nierenförmige Hyperthermiezone. Von anterior betrachtet wirkt die Patella nach innen als Hitzeschild und zeigt daher an ihrem medialen und lateralen Rand eine meist punktförmige Überwärmung.

Von den 102 im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Patienten hatten arthroskopisch 31 keinen Meniskussschaden und 71 wiesen eine Läsion auf.

Von einer signifikanten Hyperthermie und damit einem Hinweis auf das Vorliegen einer Meniskusläsion sprachen wir erst dann, wenn der warme Bezirk umschrieben wenigstens $0,6^{\circ}\text{C}$ wärmer als seine Umgebung war und sich in der Projektion des Kniegelenksspaltes auf die Hautoberfläche darstellte.

Die arthroskopisch gesunden Patienten wurden in 61,3% (19 Patienten) sofort als gesund erkannt und in 38,7% (12 Patienten) falsch-positiv gesehen. Das direkte Konkurrenzverfahren, die Arthrographie, lag hier mit 45,2% (14 Patienten) richtig-negativen und 54,8% (17 Patienten) falsch-positiven Befunden deutlich schlechter (Abb. 19 a).

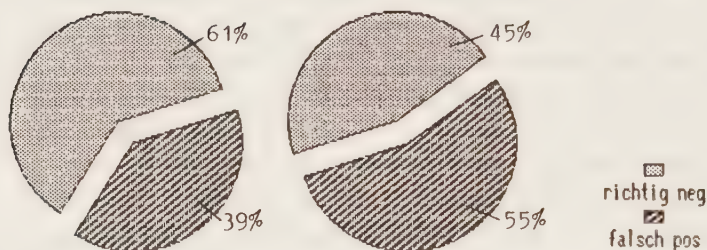
Arthroskopisch gesicherte Meniskusläsionen konnte die IRT in 84,5% (60 Patienten) ebenfalls sehen und sie waren in 15,5% (11 Patienten) im Wärmebild nicht erfaßbar. Auch hier erreichte die Arthrographie mit 57,7% (41 Patienten) richtig-positiven und 42,3% (30 Patienten) falsch-negativen Befunden nicht diese Treffsicherheit (Abb. 19 b).

Bei dieser einfachen Auswertungsmethode wird die Thermographie ihrem Anspruch als Screening-Methode und Basis-Untersuchung vor der Arthroskopie gerecht, da ihr nur wenige betroffene Patienten entgehen. Sie kann damit frühzeitig und ohne Belastungen dazu beitragen, die lange Zeit zwischen Verletzung und Arthroskopie oder Operation zu verkürzen.

8.1.2 Messungen von anterior

Für diese Messungen setzten wir die beiden gegeneinander verrechenbaren Isothermen der Thermographie-Kamera ein. Die kältere Isotherme liegt dabei den Außenkonturen des Beines an und mißt in tangentialer Sicht die Grundtemperatur. Diese erscheint dadurch tiefer als die zentral ermittelte, ist aber nur aufnahmebedingt schlechter abzugreifen, wodurch sämtliche Temperaturdifferenzen positiv werden und leichter zu handhaben sind.

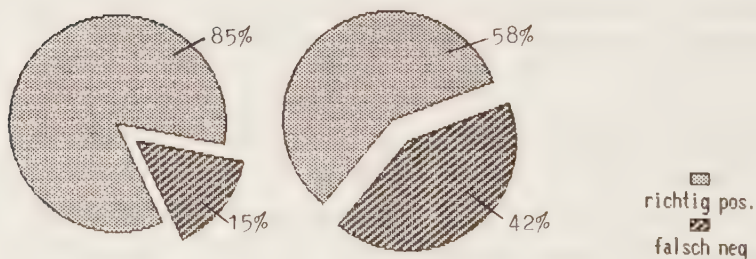
Meniskus-Läsion neg



Thermographie Arthrographie

Abb. 19 a Vergleich der Trefferquoten von Thermographie und Arthrographie bei arthroskopisch ausgeschlossener Meniskusläsionen in Prozent.

Meniskus-Läsion pos



Thermographie Arthrographie

Abb. 19 b Vergleich der Trefferquoten von Arthrographie und Thermographie bei arthroskopisch gesicherter Meniskusläsion in Prozent.

Die wärmere Isotherme verkleinerten wir soweit wie möglich und suchten so die maximale Temperatur über dem Kniegelenkshautareal. Diese Differenztemperatur wurde notiert und stellt ein Maß für die relative Überwärmung der Gelenksregionen dar.

Über die so ermittelten Temperaturdifferenzen wurde gemittelt und die entstandenen Werte einem statistischen Test unterzogen, wie er unter 7.5 beschrieben wurde. Die im folgenden angegebenen Temperaturen sind also Mittelwerte und daher mit 2 Stellen nach dem Komma, mehr als es die eigentliche Meßgenauigkeit erlauben würde, angegeben.

In anteriorer Sicht ergab sich keine statistische Signifikanz (Abb. 20). Ein tendenzieller Unterschied bestand lediglich zwischen den Knien der Kontrollgruppe und den arthroskopisch positiv diagnostizierten. Die mittlere Überwärmung lag bei den gesunden Probanden bei 2,63°C und bei den Knien mit gesicherter Meniskusläsion um 17% höher bei 3,08°C.

Die drei anderen Gruppen der arthroskopisch gesunden Knie sowie der nicht arthroskopierte und den gesunden bzw. kranken Knien zugeordneten unterschieden sich mit einer Überwärmung zwischen 2,61 und 2,94°C statistisch nicht signifikant von den Knien der Kontrollgruppe.

Dieses Ergebnis klingt enttäuschend, ist aber bei Betrachtung der anatomischen Verhältnisse nicht anders zu erwarten, da die Patella als Hitzeschild genau zwischen Kamera und Ort der Wärmeproduktion zu liegen kommt.

8.1.3 Messungen von lateral und medial

Prinzipiell führten wir diese Messungen genauso aus wie von anterior. Die kältere Isotherme lag wieder auf der tangentialen Projektion des Oberschenkels und die wärmere suchte nach dem Temperaturmaximum über dem Gelenkspalt.

Hier entstanden aussagekräftige und signifikante Unterschiede der Mittelwerte (Abb. 20).

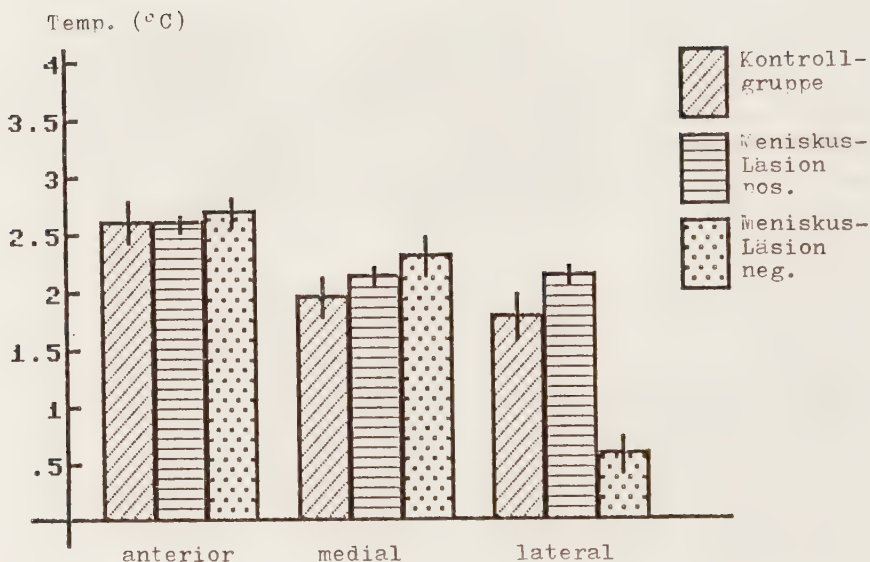


Abb. 20 a Überwärmung der nicht arthroskopierten Knie mit Verdacht auf Meniskusläsion der Gegenseite bei der Hauptuntersuchung.
 n (Kontrollgruppe) = 24, n (Meniskus-Läsion pos.) = 71,
 n (Meniskus-Läsion neg.) = 31
 Die Fehlerbalken entsprechen SEM (standard error of the mean).

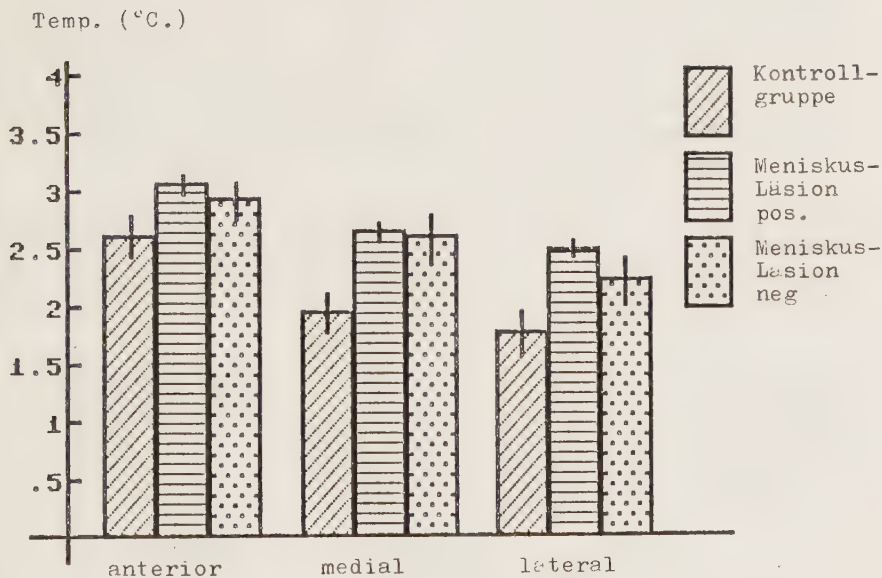


Abb. 20 b Überwärmung der arthroskopierten Knie mit Verdacht auf Meniskusläsion bei der Hauptuntersuchung.
 n (Kontroll-Gruppe) = 24, n (Meniskus-Läsion pos.) = 71,
 n (Meniskus-Läsion neg.) = 31
 Die Fehlerbalken entsprechen SEM.

So lagen in der Sicht von medial die Temperaturen der arthroskopisch gesichert verletzten Knie mit $2,66^{\circ}\text{C}$ mittlerer Überwärmung um 35% über der Kontrollgruppe mit $1,97^{\circ}\text{C}$. Dies ist ein signifikanter Unterschied auf dem Niveau " p kleiner $0,05$ ".

Von lateral betrachtet ergab sich sogar ein hochsignifikanter Unterschied auf dem Niveau " p kleiner $0,01$ ". Die gesichert pathologischen Knie wiesen mit $2,52^{\circ}\text{C}$ mittlerer Überwärmung eine im Mittel 44% höhere Temperatur auf als die Kontrollgruppe mit $1,75^{\circ}\text{C}$ Überwärmung.

Alle anderen Temperaturdifferenzen erreichten kein Signifikanz-Niveau im Unterschied zur Kontrollgruppe. Interessant ist jedoch, daß die mittlere Überwärmung der arthroskopierte Knie ohne pathologischen Befund von medial aus gesehen mit $2,16^{\circ}\text{C}$ Überwärmung fast so hoch wie die der sicher verletzten Knie ist. Signifikanz im Unterschied zur 0-Gruppe kann jedoch statistisch wegen der großen Unsicherheit der Standardabweichung von $1,12^{\circ}\text{C}$ gegenüber $0,70^{\circ}\text{C}$ bei positiver Meniskusdiagnose nicht erreicht werden.

Als Ergebnis bleibt jedoch festzuhalten, daß eine gemessene mittlere Temperaturerhöhung um $2,66^{\circ}\text{C}$ medial bzw. $2,51^{\circ}\text{C}$ lateral mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als $0,05\%$ die Diagnose einer Meniskusläsion erlaubt.

8.1.4 Temperaturdifferenz im Seitenvergleich

Durch unsere Software waren wir in der Lage, Datenbank-gestützt, bei jedem Patienten die Differenz aus den Meßwert-Paaren beider Knie zu bilden. So entstanden Temperaturdifferenzen im Seitenvergleich bei Projektion von anterior, medial und lateral (Abb. 21). Als statistisches Hilfsmittel bedienten wir uns des T-Testes für verbundene Stichproben. Damit werden signifikante Unterschiede der Einzelwerte eines Wertepaares, in diesem Falle rechts zu links, getestet.

Bei der Kontroll-Gruppe ergab die Durchführung dieses Testes keine Signifikanz, wohl aber bei den gesichert pathologischen Knien aus allen drei Projektionen.

Von anterior aus betrachtet beträgt der mittlere Temperaturunterschied $0,46^{\circ}\text{C}$ und damit eine hohe Signifikanz bei "p kleiner $0,001$ ". Die gleiche Signifikanz wurde bei Projektion von medial mit einer mittleren Temperaturdifferenz von $0,52^{\circ}\text{C}$ und von lateral mit $0,38^{\circ}\text{C}$ erreicht.

Die Anwendungen des T-Testes auf die Kontroll-Gruppe und die arthroskopierten Patienten mit unauffälligem Befund ergab keinerlei signifikante Unterschiede. Die Temperaturdifferenzen bewegten sich hier zwischen $0,17^{\circ}\text{C}$ bei der Kontroll-Gruppe und der Projektion von lateral und zwischen $0,23^{\circ}\text{C}$ bei Projektion von vorne und $0,24^{\circ}\text{C}$ bei Projektion von medial.

Temp. ($^{\circ}\text{C}$)

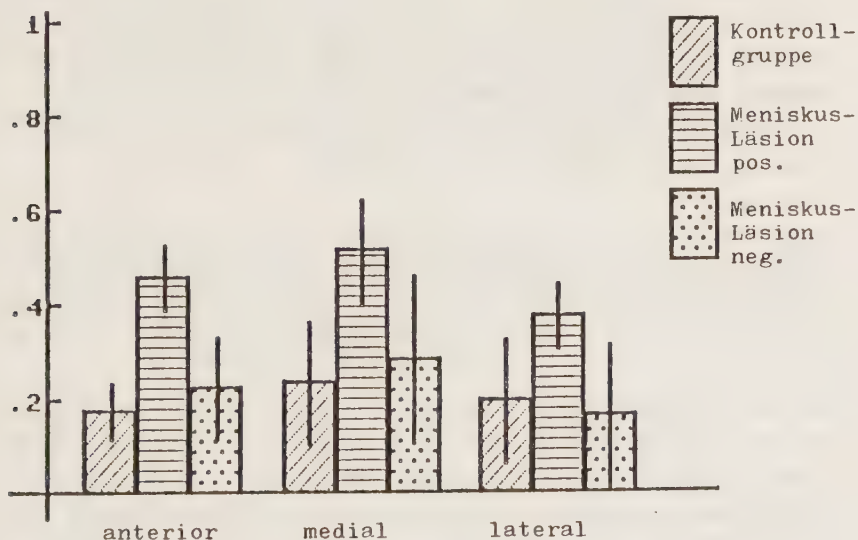


Abb. 21 Differenztemperaturen im Seitenvergleich bei Patienten mit Verdacht auf Meniskusläsion.

n (Kontroll-Gruppe) = 24, n (Meniskus-Läsion pos.) = 71,

n (Meniskus-Läsion neg.) = 31

Die Fehlerbalken entsprechen SEM.

Damit konnte eindeutig nachgewiesen werden, daß die Thermographie bei Temperaturdifferenzen der beiden Knie eines Patienten von mehr als $0,38^{\circ}\text{C}$ mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 0,1% eine Meniskusläsion diagnostizieren kann.

Die Heranziehung des Seitenvergleiches für diese Aussage hat außerdem den Vorteil, daß sie unabhängig von der relativ unsicheren Messung absoluter Temperaturen ist und ausschließlich die meßtechnisch sehr genaue Temperaturdifferenz zweier korrespondierender Stellen der Hautoberfläche über dem Kniegelenk heranziehen muß.

8.1.5 Kontrolluntersuchungen

18 Patienten (17,6%) stellten sich sechs Monate nach arthroskopischer oder operativer Therapie noch einmal für eine thermographische Untersuchung zur Verfügung. Davon wiesen 15 (83%) bei der Erstuntersuchung einen Meniskusschaden auf, 3 (17%) waren unauffällig.

Sie wurden dem gleichen Procedere wie beschrieben unterzogen und der Untersucher führte in derselben Weise Protokoll.

Dies führte zu einigen erstaunlichen Ergebnissen. Von vorne, medial und lateral gesehen, gab es bei allen Patienten eine Erniedrigung der Differenztemperatur zwischen der Hautoberfläche des Oberschenkels und der des Kniegelenkareals. Diese fiel jedoch völlig unterschiedlich aus (Abb. 22).

Die nicht arthroskopierten, also gesunden Knie, wiesen eine Erniedrigung der Differenztemperatur zwischen 33% und 36% auf und wurden damit signifikant kälter. (p kleiner 0,01). Dies läßt sich unter Umständen damit erklären, daß die Verletzung des anderen Knies eine Schonhaltung und damit eine Mehrbelastung des gesunden Gelenks mit sich führt. Diese Mehrbelastung wirkt als Reiz, führt zu höherer Durchblutung und damit zu hoher Hauttemperatur. Fällt nach erfolgreicher Therapie die Schonung des verletzten Beines weg, so wird gleichzeitig das gesunde Knie entlastet, weniger perfundiert und kühlt wieder etwas ab.

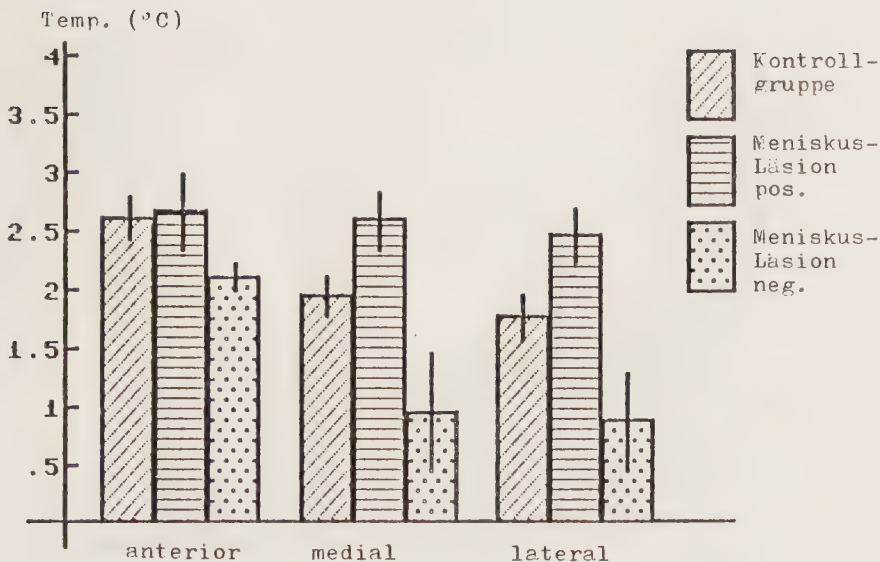


Abb. 22a Überwärmung der arthroskopierten Knie bei Nachuntersuchung.
 n (Kontroll-Gruppe) = 24, n (Meniskus-Läsion positiv) = 15,
 n (Meniskus-Läsion neg.) = 3
 Die Fehlerbalken entsprechen SEM.

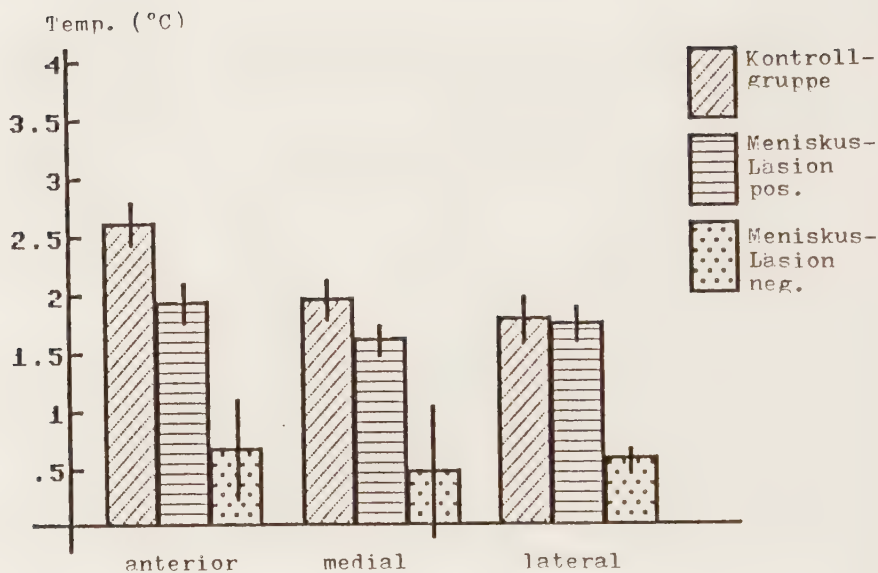


Abb. 22b Überwärmung der nicht arthroskopierten Knie bei Nachuntersuchung
 n (Kontroll-Gruppe) = 24, n (Meniskus-Läsion pos.) = 15,
 n (Meniskus-Läsion neg.) = 3
 Die Fehlerbalken entsprechen SEM.

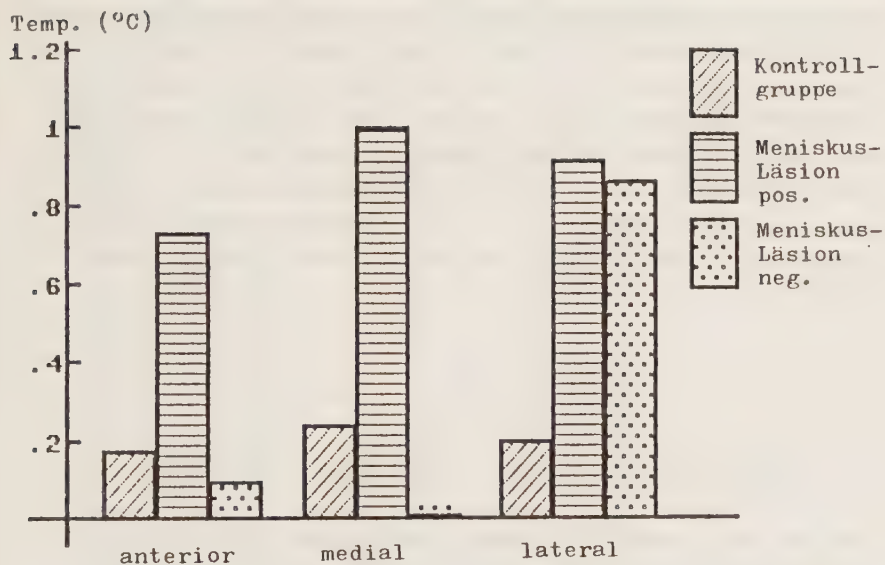


Abb. 23 Seitendifferenztemperaturen bei Nachuntersuchung
 n (Kontroll-Gruppe) = 24, n (Meniskus-Läsion pos.) = 15,
 n (Meniskus-Läsion neg.) = 3
 Die Fehlerbalken wurden in der Grafik nicht berücksichtigt, da
 die Standardabweichung zu große Werte annahm.

Ganz anders liegen die Temperaturverhältnisse bei den arthroskopierten oder operierten Knien. Hier konnte in keiner Projektion eine signifikante Abkühlung erreicht werden. Die Temperaturdifferenzen sanken nur um max. 10% gegenüber der präoperativen IRT ab. Offensichtlich führt die Arthroskopie doch zu einem stärkeren Reiz und zu damit verbundenen Entzündungen und Reparaturvorgängen, so daß nach 6 Monaten gerade das präoperative Temperaturniveau erreicht wird. Außerdem scheinen sich besonders in der Erholungszeit individuelle Einflüsse sehr stark bemerkbar zu machen, da besonders die Werte der Seitendifferenztemperaturen sehr stark streuten (Abb. 23). Leider standen uns die Patienten nicht noch einmal zur Verfügung, so daß eine spätere Arbeit sich mit dem Langzeitverlauf der Hauttemperatur nach Knieoperationen oder Arthroskopien zu befassen haben wird.

8.2 Chondropathia patellae

8.2.1 Optische Auswertung

Unter den 102 im Rahmen dieser Studie thermographierten und arthroskopierten Patienten befanden sich 44 (43,1%), bei denen als Nebentbefund in der Kniespiegelung eine Chondromalacia patellae diagnostiziert wurde. Es kann also in dieser Arbeit in erster Linie nur darum gehen, einen retro-patellaren Knorpelschaden zu diagnostizieren, und nicht zwischen Chondromalacia patellae und Femoro-Patellarem Schmerzsyndrom (FPS) zu differenzieren.

Dabei teilten wir die Chondromalacia patellae nach einem modifizierten dreistufigen Schema nach Outerbridge ein (84), und werteten nur die Grade II und III als pathologisch, um falsch-positiven Diagnosen vorzubeugen (siehe 5.2.3).

Im thermographischen Bild überprüften wir durch genaues Betrachten, ob in der sich normalerweise kühl darstellenden Patella hypertherme Bezirke zu sehen waren. Dabei mußten hier ebenso wie bei der optischen Diagnose der Meniskusklaision in einem begrenzten Areal wenigstens 0,6°C mehr als in der Umgebung angezeigt werden.

Bei 41 Patienten (40,2%) zeigten sich hier deutlich überwärmte Kniescheiben. Dagegen bestand nur bei 20 Patienten (19,6%) ein Femoro-Patellares-Schmerzsyndrom und damit klinischer Verdacht auf eine Chondromalazie. Bei 44 Patienten (43,1%) konnte arthroskopisch eine Chondromalacia patellae nachgewiesen werden, sodaß hier eine gute Korrelation zwischen objektivem arthroskopischen Befund und Thermogramm erzielt werden konnte (Abb. 24).

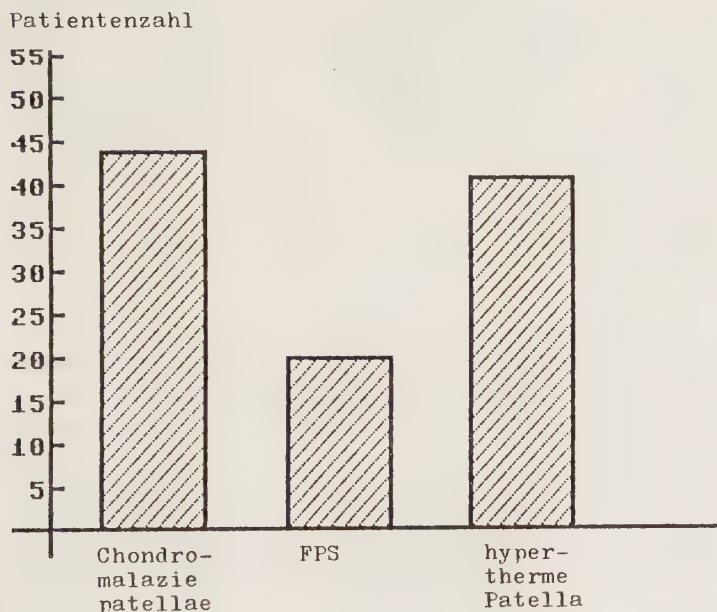


Abb. 24 Vergleich von Arthroskopie, Klinik und Thermographie bei der Diagnose der Chondromalacia patellae bzw. des FPS.
 n (Chondromalacia patellae) = 44, n (FPS) = 20,
 n (hypertherme Patella) = 41

Von 58 Patienten ohne Chondromalacia patellae im arthroskopischen Befund erschienen 43 (74,1%) im Thermogramm ebenfalls unauffällig, während 15 (25,%) falsch-positiv beurteilt wurden (Abb. 25). Das FPS wird rein klinisch anhand von Patella-Druckschmerz, Verschiebeschmerz und anderen Zeichen diagnostiziert. Daher diente auch die präoperative klinische Diagnose als Vergleich für die Treffsicherheit der IRT. Dabei erschienen 50 (86,2%) der arthroskopierten gesunden Kniescheiben klinisch unauffällig, während 8 (13,8%) falsch-positiv beurteilt wurden.

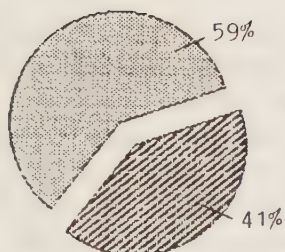
Von den 44 Untersuchten mit gesicherter Chondromalacia patellae konnten klinisch 12 (27,3%) erfaßt werden. 32 (72,7%) stellten sich klinisch unauffällig dar und wurden daher falsch-negativ gesehen. Die Thermographie erreichte hier bei 26 (58,1%) der Patienten ein richtig-positives Ergebnis und übersah 18 (40,9%) als falsch-negativ.

Damit wird deutlich, daß sich die IRT nicht sehr gut zum sicheren Aus-schluß einer Chondromalacia patellae eignet, wohl aber zur Erfassung von präklinischen Frühstadien, die noch sehr gut auf konservative Therapie ansprechen. Ist die Chondromalacia patellae bereits als retropatellares Schmerzsyndrom klinisch manifest geworden, bereitet die Diagnose in aller Regel ohnehin keine Schwierigkeiten mehr. In jedem Fall zeigt die IRT eine höhere Korrelation zum objektiven arthroskopischen Befund der Chondromalacia patellae als zum klinischen des FPS.

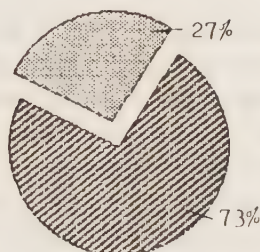
8.2.2 Messungen der Patellatemperatur

Die anteriore Projektion ist die einzige, in der das Substrat der Untersuchung, die Patella, gut erfaßt werden kann. Messungen von medial oder lateral ließen keine Aussage darüber zu, ob an der Dorsalseite der Kniescheibe sich befindende hypertherme Bereiche ihre Ursache dort oder an Prozessen des eigentlichen Gelenkspaltes haben.

Chondromalazie pos.



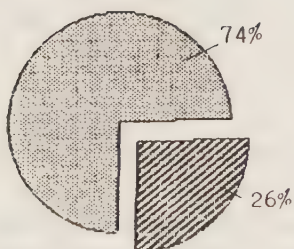
Thermographie



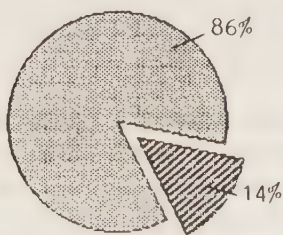
FPS

 richtig pos.
 falsch pos.

Chondromalazie neg.



Thermographie



FPS

 richtig neg.
 falsch neg.

Abb. 25 Trefferquoten von Thermographie und Klinik im Vergleich zur arthroskopischen Diagnose (Chondromalacia patellae).

Sowohl die thermographischen Daten als auch die klinische Diagnose FPS wurde mit dem arthroskopischen Befund der Chondromalacia patellae als objektive Kontrolle verglichen.

Die technische Durchführung der Messung gestalteten wir wie die Untersuchungen der Meniskusklesionen. Wir verwendeten die vom Thermographiesystem berechneten Isothermen-Differenzen für jedes Bein getrennt. Die kältere Isotherme maß dabei, wie oben beschrieben, die tangentielle Projektion der Grundtemperatur, während mit der wärmeren Isotherme hypertherme Areale der Patella gesucht wurden. Zur Differenztemperatur addierten wir die Grundtemperatur und erhielten so absolute Temperaturwerte, die uns bei der Kniescheibe als exponierten Teil des Kniegelenks sinnvoller erschienen.

Die Ergebnisse können jedoch in keiner Weise befriedigen. Die Patella-Temperaturen der arthroskopierten Knie lagen unabhängig davon, ob eine Chondromalacia patellae diagnostiziert wurde oder nicht, deutlich und schwach signifikant höher als die der Kontrollgruppe (Abb. 26). Sie unterschieden sich aber nicht signifikant voneinander. Die gemessenen Absoluttemperaturen betragen für die Kontrollgruppe 29,0°C, für die Knie mit gesicherter Chondromalacia patellae 30,21°C und für diejenigen ohne diesen Befund sogar 30,38°C.

Demgegenüber unterschieden sich die Kniescheibentemperaturen der nicht arthroskopierten Gelenke, also derjenigen ohne subjektive oder klinische Beschwerden, nicht signifikant von denen der Kontrolle. Hier lagen die absoluten Werte bei 29,8°C bzw. bei 30,1°C, jedoch mit deutlich erhöhter Standardabweichung. Streuten die Patella-Temperaturen der arthroskopierten Knie bei positiver Diagnose im Mittel um 1,4°C, so lag die Standardabweichung des Mittelwertes der Temperaturen der nicht arthroskopierten, beschwerdefreien Kniescheiben bei 2,3°C und damit ähnlich der Kontrollgruppe mit 2,6°C.

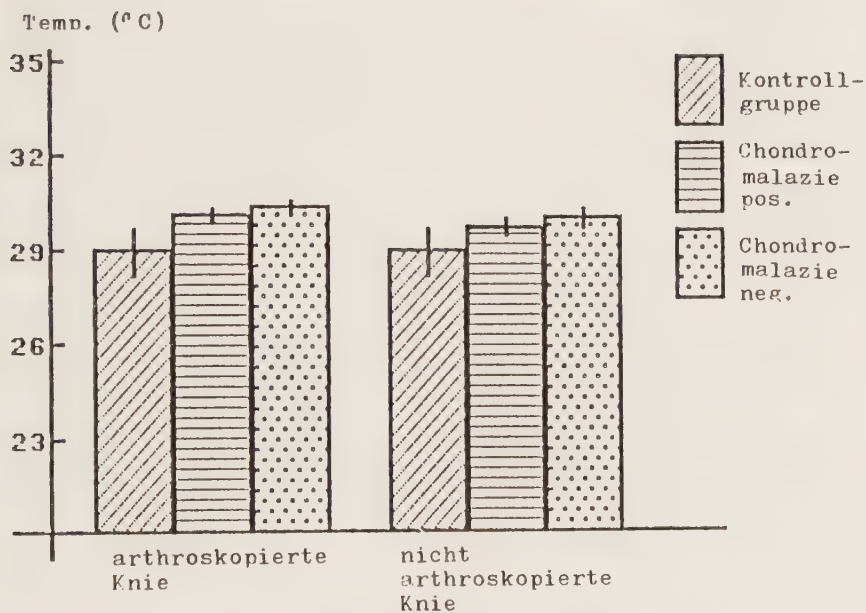


Abb. 26 Patella-Temperaturen bei der Hauptuntersuchung
 n (Kontroll-Gruppe) = 24, n (Chondromalacia patellae pos.) = 44,
 n (Chondromalacia patellae neg.) = 58
 Die Fehlerbalken entsprechen SEM (standard error of the mean).

Die Kniescheibentemperaturen erreichen also sehr früh einen Maximalwert, der bei knapp 32°C liegen dürfte. Dieser Wert errechnet sich aus den mittleren Kniescheibentemperaturen und den dazugehörigen Standardabweichungen. Bei der Kontrollgruppe betrug die Summe $29,0^{\circ}\text{C} + 2,6^{\circ}\text{C} = 31,6^{\circ}\text{C}$, bei den pathologisch veränderten Kniescheiben $30,2^{\circ}\text{C} + 1,4^{\circ}\text{C} = 31,6^{\circ}\text{C}$ und bei den beschwerdefreien Knien $29,8^{\circ}\text{C} + 1,8^{\circ}\text{C} = 31,6^{\circ}\text{C}$.

Die oben dargestellten Ergebnisse lassen einige Interpretationen zu. Offensichtlich gelingt es in anteriorer Projektion nicht, exakte Zuordnungen von Chondromalacia patellae und signifikant erhöhter Patella-Temperatur aufzustellen. Auf der anderen Seite scheint das Ergebnis der IRT gut mit dem subjektiven Schmerzempfinden zu korrelieren. Die arthroskopierten Knie waren für die Patienten in jedem Fall diejenigen, die Beschwerden machten und sie zum Arzt führten, während in den allermeisten Fällen das Knie des anderen Beines subjektiv unauffällig blieb. Offensichtlich sind also Prozesse, die in der Lage sind, Kniegelenksschmerzen auszulösen, dazu geeignet, die Hitzeschildwirkung der Patella zu schwächen. Ungeklärt bleibt dabei der Mechanismus der Temperaturerhöhung. Denkbar wäre eine im Gesamtgelenk gesteigerte Perfusion, deren Wärme von der Kniescheibe als exponiertestem Teil in höherem Umfang nach außen abgegeben wird. Ab einer gewissen Temperatur stellt sich dann ein Gleichgewicht von maximal produzierbarer und abgegebener Wärme ein, und es bildet sich eine obere Grenze für die Patella-Temperatur von ca. 32°C.

8.2.3 Temperaturdifferenz im Seitenvergleich

Ähnlich den Untersuchungen der Meniskusklaision bedienten wir uns des Rechners, um für jeden Patienten die Differenztemperatur seiner Kniescheibe zu ermitteln.

Dabei betrug die mittlere Differenz bei Patienten mit gesicherter Chondromalacia patellae 0,4°C und unterschied sich schwach-signifikant (p kleiner 0,05) von der mittleren Differenztemperatur der 0-Gruppe, die bei 0,02°C lag (Abb. 27). Allerdings konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Differenztemperaturen aller Patientenknien ermittelt werden.

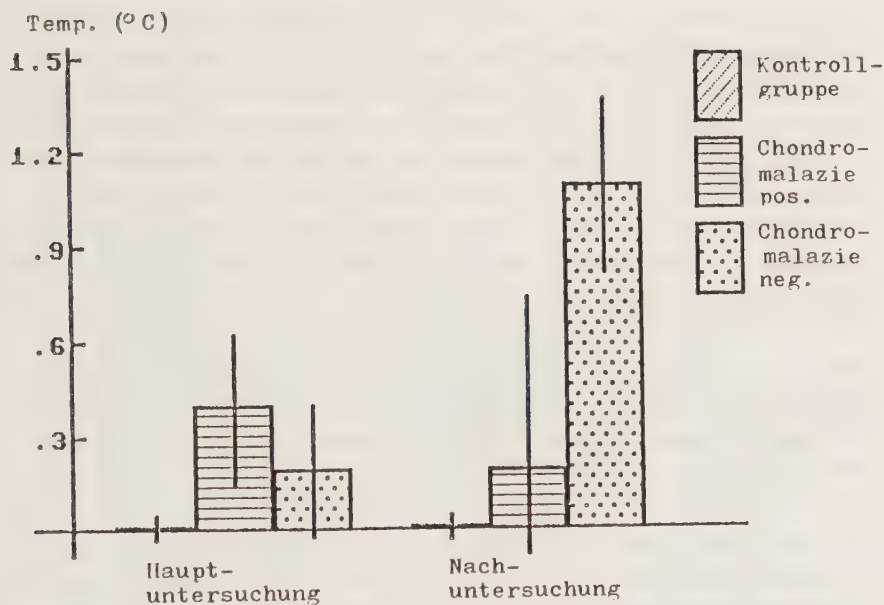


Abb. 27 Differenztemperaturen der Patella im Seitenvergleich
 n (Kontroll-Gruppe) = 24, n (Chondromalacia patellae pos.) = 44,
 n (Chondromalacia patellae neg.) = 58

Die Fehlerbalken entsprechen SEM (standard error of the mean).

Offensichtlich trifft hier das unter 8.2.2 gesagte wieder als Erklärung zu: Alle Patienten hatten Kniebeschwerden und alle Patienten zeigten eine im Mittel höhere Temperatur der betroffenen Patella unabhängig von der wirklichen Ursache dieser Beschwerden, d.h. es besteht ein Zusammenhang zwischen thermographischem Bild und Schmerzempfinden.

Allerdings zeigt sich der Zusammenhang zwischen Überwärmung und objektivem Chondromalacia patellae-Befund deutlicher als der zum Femoro-Patellaren-Schmerzsyndrom (Abb. 28). Patienten mit Chondromalacia patellae wiesen mit $0,4^{\circ}\text{C}$ Seitendifferenz im Mittel eine 66% höhere Überwärmung des betroffenen Beines auf. Bei Patienten mit FPS war das schmerzhafteste Bein mit $0,34^{\circ}\text{C}$ im Mittel nur 21,4% wärmer als das klinisch gesunde. Die Beurteilbarkeit ist jedoch durch die hohen Unsicherheiten und individuellen Schwankungen stark eingeschränkt. Dies verdeutlicht sich am besten anhand der extrem hohen Standardabweichungen.

Dennoch bestätigt die Beobachtung das unter 8.2.1 gesagte, denn die Wahrscheinlichkeit, mit der IRT eine Chondromalacia patellae zu entdecken, ist auch bei Messung der Seitendifferenztemperatur höher als jene, ein FPS verifizieren zu können.

Die Interpretation mag als Hinweis dafür gelten, daß die IRT eine wichtige Aufgabe erfüllen kann, wenn sie als belastungsfreie Voruntersuchung eingesetzt wird. Eine auffällige Hyperthermie im Thermogramm sollte immer Anlaß zu gezielten weiteren Untersuchungen geben, falls nicht schon die IRT selbst eine Diagnose stellen kann.

8.2.4 Kontrolluntersuchungen

Unter den 18 nach 6 Monaten erneut thermographierten Patienten befanden sich 8 (44%), bei denen in der vorausgegangenen Arthroskopie eine Chondromalacia patellae diagnostiziert wurde. 10 Patienten (66%) wiesen unauffällige Knorpelverhältnisse auf.

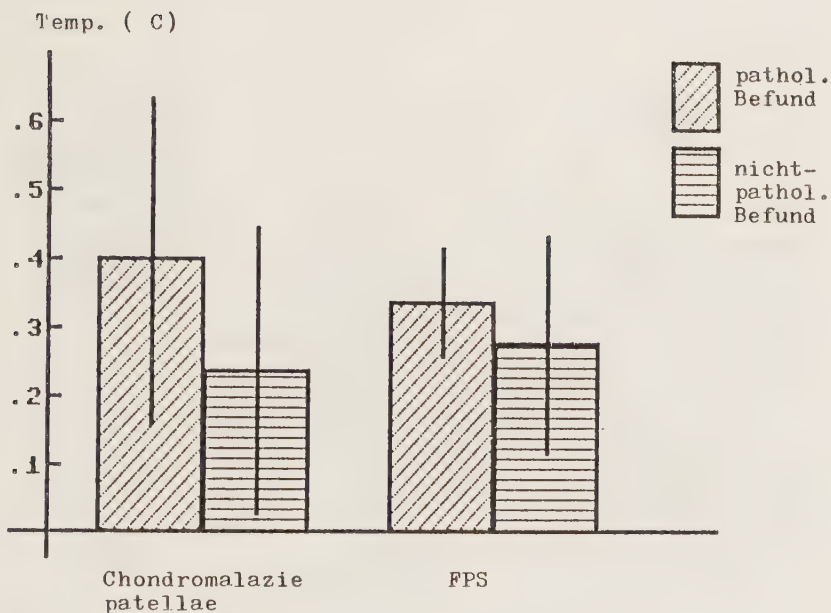


Abb. 28 Überwärmung der Patella bei C.p. bzw. FPS
 n (Chondromalacia patellae pos.) = 44,
 n (Chondromalacia patellae neg.) = 58
 n (FPS pos.) = 20, n (FPS neg.) = 82
 Die Fehlerbalken entsprechen SEM.

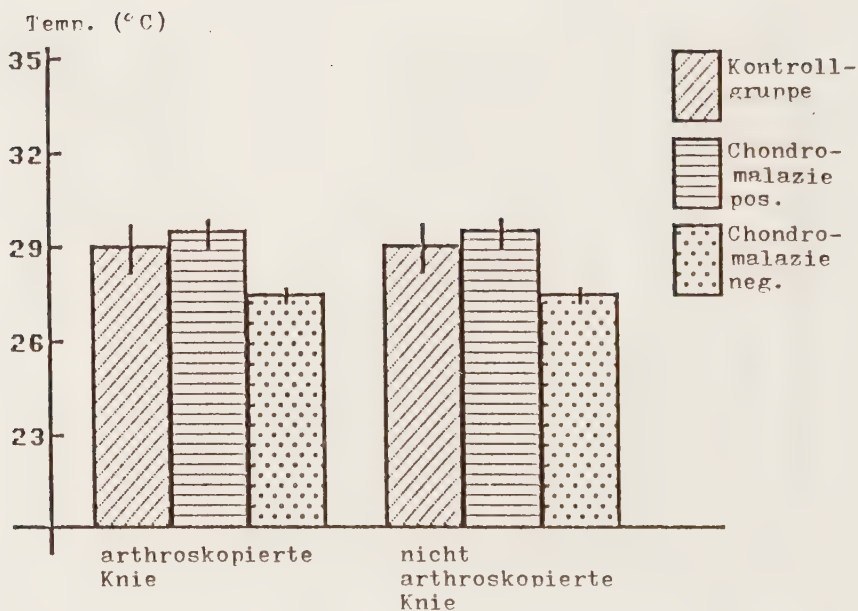


Abb. 29 Patella-Temperaturen bei Nachuntersuchung
 n (Kontroll-Gruppe) = 24, n (Chondromalacia patellae pos.) = 8 ,
 n (Chondromalacia patellae neg.) = 10
 Die Fehlerbalken entsprechen SEM.

Wir untersuchten diese 18 Patienten wie vor der Arthroskopie und suchten nach Therapieerfolgen. Da bei allen 8 wieder thermographierten Patienten mit Chondromalacia patellae als Hauptbefund ein Meniskusschaden diagnostiziert und therapiert wurde (partielle/totale Meniscektomie), diente die Kontroll-IRT hier vor allem dazu, die Auswirkung eines wieder intakten Femoro-tibialen Gleitlagers auf das Femoro-patellare Gleitlager zu dokumentieren.

Die mittleren Patella-Temperaturen lagen jetzt deutlich tiefer und unterschritten zum Teil sogar diejenigen der Kontrollgruppe (Abb. 29). Diese Temperatursenkung erreichte bei den Patienten, die eine arthroskopisch gesicherte Chondromalacia patellae aufwiesen, lediglich eine schwache Signifikanz (p kleiner 0,05), während sie bei arthroskopisch unauffälligen Patienten wesentlich deutlicher ausfielen und signifikant unterschiedlich waren (p kleiner 0,01). So fiel die mittlere Patella-Temperatur der arthroskopierten Kniegelenke mit Chondromalacia patellae von $30,2^{\circ}\text{C}$ auf $29,7^{\circ}\text{C}$ während diejenigen der nicht arthroskopierten Kniescheibe ohne Knorpelschäden von $30,1^{\circ}\text{C}$ auf $27,5^{\circ}\text{C}$ absank.

Der Reiz der vorangegangenen Operation dürfte hier für das langsame Absinken der Hauttemperaturen die Verantwortung tragen. In jedem Fall kann die IRT bei der Chondromalacia patellae im Gegensatz zu den Meniskuskläsionen schon nach 6 Monaten eine deutliche Besserung des Zustandes dokumentieren. Das sehr deutliche Absinken der Temperatur der nicht arthroskopierten Knie könnte sich auf zwei Ursachen zurückführen lassen: Zum einen fehlt der Reiz der Operation, so daß Reparatur- und Entzündungsvorgänge nicht auftraten. Zum anderen tritt eine Entlastung des beschwerdefreien Knies ein, wenn durch Therapieerfolge die Schonhaltung des anderen Beines reduziert werden kann. In diesem Fall kann also von "direkter" und "indirekter" Erfolgskontrolle gesprochen werden. Ob diese Kausalität jedoch wirklich in praxi besteht, läßt sich definitiv noch nicht sagen und erfordert weitere Studien.

Im Gegensatz dazu verhalten sich die erwähnten Differenztemperaturen der Kniescheiben beider Beine. Zwar veränderten sich die Mittelwerte leicht nach unten, doch erreichten diese Änderungen keinerlei Signifikanz-Niveau (Abb. 29).

Damit muß leider der Schluß gezogen werden, daß bei der Diagnose der Chondromalacia patellae der sonst so hilfreiche Seitenvergleich beider Beine keine Aussagekraft hat und allein die Betrachtung der Absoluttemperaturen im Vergleich zu Normaltemperaturen Hinweise auf die zurückliegende Krankheit geben kann.

8.3 Kreuzbandläsionen

8.3.1 Optische Auswertung

In unserem Kollektiv wiesen 32 Patienten (31,4%) eine Verletzung (Ruptur oder Elongation) des Kreuzbandes auf. Bei 31 war das vordere Kreuzband betroffen und bei einem das hintere, während Läsionen beider Kreuzbänder nicht dokumentiert werden konnten. 70 Patienten (68,6%) wiesen unauffällige Bandverhältnisse im Kniegelenk auf.

Bei der optischen Auswertung der Thermogramme besteht für den Untersucher das Problem, kein typisches Substrat für eine Kreuzbandläsion erkennen zu können. Die Läsion kann thermisch neutral sein, sie kann durch eine Meniskusläsion überstrahlt werden, oder sie kann zu diffuser Reizung des gesamten Gelenks führen.

Diese Probleme werden verständlich, verdeutlicht man sich die zentrale Lage der Kreuzbänder im Kniegelenk (Abb. 2 bis 4) und die damit verbundenen großen Entfernungen bis zur Hautoberfläche. Tiefliegende Prozesse sind für die IRT ohnehin schwer zu erfassen (6.2), so daß über einem so komplexen Areal, wie dem Kniegelenk, die davon ausgehende Wärme keine interpretierbaren Muster auf der Hautoberfläche erzeugen kann.

8.3.2 Temperaturmessungen

Um Knorpel-Band-Läsionen und Kreuzbandläsionen thermographisch zu erfassen bedienen wir uns derselben Meßpunkte und Meßmethodik wie zur Beurteilung der Meniskusschäden (siehe 8.1.2, 8.1.3).

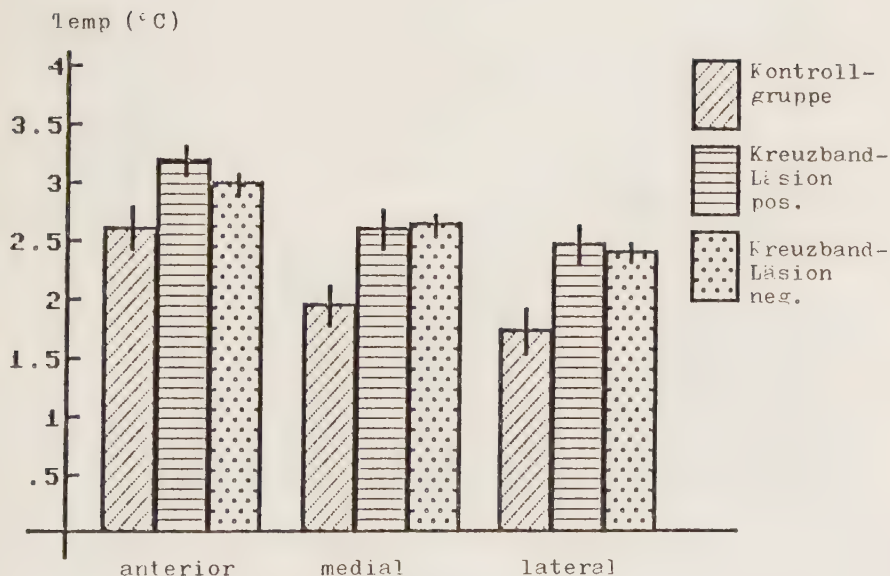


Abb. 30a Überwärmung der arthroskopierten Knie

n (Kontroll-Gruppe) = 24, n (Kreuzband-Läsion pos.) = 32,

n (Kreuzband-Läsion neg.) = 70

Die Fehlerbalken entsprechen SEM (standard error of the mean).

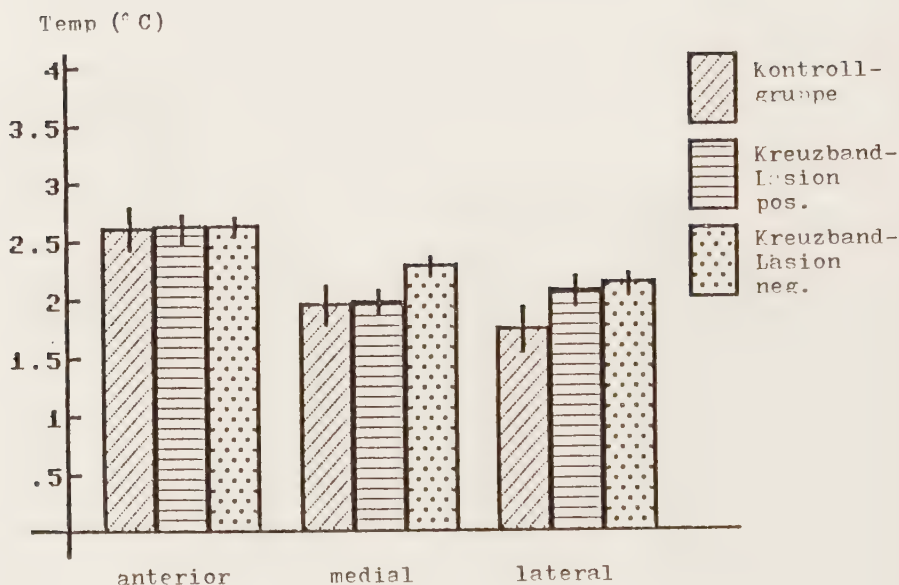


Abb. 30b Überwärmung der nicht arthroskopierten Knie
 n (Kontroll-Gruppe) = 24, n (Kreuzband-Läsion pos.) = 32,
 n (Kreuzband-Läsion neg.) = 70
 Die Fehlerbalken entsprechen SEM.

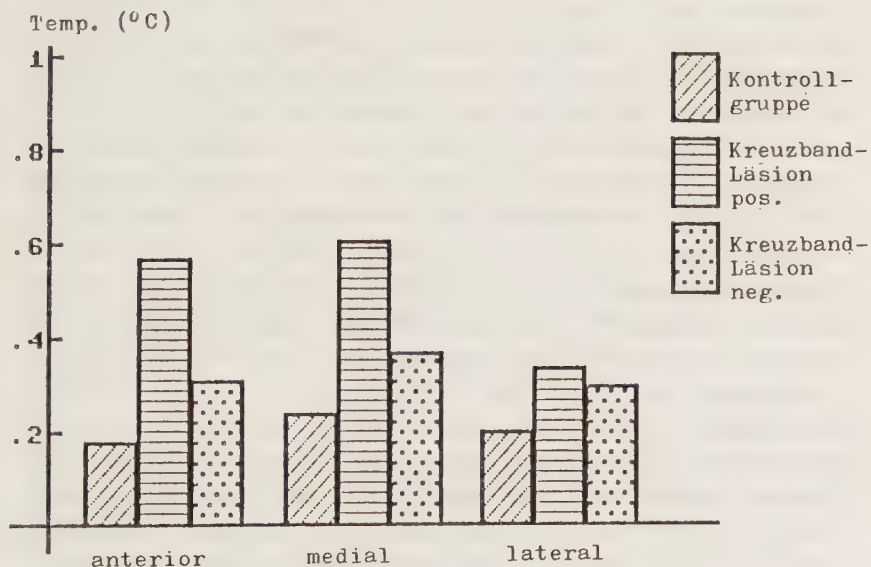


Abb. 30c Seitendifferenztemperaturen bei Patienten mit Kreuzbandläsionen
 n (Kontroll-Gruppe) = 24, n (Kreuzband-Läsion pos.) = 32,
 n (Kreuzband-Läsion neg.) = 70

Die Fehlerbalken wurden nicht berücksichtigt, da die Standardabweichung zu große Werte annahm und Signifikanz nicht erreicht wurde.

Wir fahndeten nach Hyperthermien, die sich in jedem Fall in der Projektion des Kniegelenkspaltes auf die Hautoberfläche zeigen müssen.

Bei Betrachtung der in jeweils einem Bein ermittelten Überwärmungen im Vergleich zur Grundtemperatur ergaben sich keinerlei signifikante Unterschiede zur 0-Gruppe oder zwischen Patienten mit Kreuzbandläsionen und solchen mit unauffälligen Bandverhältnissen (Abb. 30). Bei Betrachtung der mittleren Differenztemperatur mag dies verwundern, liegt doch bei arthroskopierten Knien mit positivem Kreuzbandbefund dieser Wert bei $2,6^{\circ}\text{C}$ im Gegensatz zu $2,0^{\circ}\text{C}$ bei der Kontrollgruppe. Hier jedoch fallen die oben beschriebenen Interaktionen mit anderen Prozessen im Kniegelenk (Meniskusläsionen, Knorpelschäden) stark ins Gewicht, so daß die Standardabweichung mit $0,95^{\circ}\text{C}$ sehr hoch liegt und Signifikanz nicht erreicht wird.

Es erschien uns nicht sinnvoll, bei derartig unsicherer Grundlage mit diesen weitstreuenden Meßwerten weitere Rechenoperationen, wie das bei der Meniskusdiagnostik durchgeführte System des Seitenvergleichs, durchzuführen. Resultate mit dieser unsicheren Grundlage könnten nie zur Arbeitsgrundlage für die klinische Anwendung oder auch nur für weitere Arbeiten werden.

Chancen könnte die IRT in der Diagnose von Kreuzbandläsionen lediglich bei sehr frischen Verletzungen haben, die aus den genannten Gründen für diese Studie nicht zur Verfügung standen. Bei alten Rupturen oder Elongationen ist das Kreuzband entweder schon resorbiert (spätestens 1 Jahr nach Ruptur) oder wird mechanisch nicht mehr stark beansprucht, da es keine straffe Verbindung mehr vom Ansatz zur Insertion darstellt. In jedem Fall findet keine Reizung des Kniegelenks mehr statt, wie es für meßbare Hyperthermien grundsätzlich zu fordern wäre.

Allerdings verlangen sichere diagnostische Aussagen auf diesem Gebiet weitere Erkenntnisse darüber, wie und in welchem Umfang Wärmetransporte aus zentralen Bereichen des Kniegelenks an die Hautoberfläche möglich sind.

8.4 Diskussion

Um Aussagen über die diagnostische Wertigkeit der IRT treffen zu können,

teilten wir unser Patientengut in drei Diagnosegruppen ein. Innerhalb dieser Gruppen beurteilten wir jeweils die Treffsicherheit der Thermogramme bei rein optischer Auswertung und bei statistisch-rechnerischer Auswertung der gemessenen Temperaturen und Temperaturdifferenzen. Ferner beurteilten wir das thermographische Bild bei einer im Abstand von 6 Monaten nach erfolgter Therapie ausgeführten Kontrolluntersuchung.

Meniskusküsläsionen lassen sich in 85% mit der IRT bei rein optischer Auswertung erkennen und sind damit sicherer zu diagnostizieren als mit Arthrographie. Mißt man die relative Temperaturerhöhung der Kniegelenks-Region im Vergleich zur Oberschenkelgrundtemperatur von anterior, so kann man nicht in allen Fällen statistisch signifikante Aussagen treffen. Messungen von medial und von lateral führen jedoch zu einer sehr hohen Treffsicherheit, die eine statistisch signifikante Irrtumswahrscheinlichkeit von "p kleiner 0,05" hat. Betrachtet man die Knie im Seitenvergleich, so werden sehr fundierte Aussagen möglich. Hier kann mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 0,1% (p kleiner 0,001) auf das Vorhandensein einer Meniskusküsläsion geschlossen werden.

In der Kontrolluntersuchung stellte sich heraus, daß besonders die Temperaturen der nicht operierten Knie von Patienten mit Meniskusschäden abgenommen haben. Vermutlicherweise liegt der Grund dafür im Wegfall der Schonhaltung des ehemals verletzten anderen Beines.

Die Treffsicherheit bei optischer Auswertung der Thermogramme bei Patienten mit Chondromalacia patellae bzw. Femoro-Patellarem-Schmerzsyndrom lag bei gesunden Patienten niedriger als die der klinischen Diagnose. Versteckte präklinische und erst in der Arthroskopie bewiesene Chondromalazien konnte die IRT jedoch gut diagnostizieren. Sie erzielte 55% richtig-positive Diagnosen gegenüber 27% klinisch gefundener Schmerzsyndrome. Damit eignet sie sich gut als Screening-Methode, um schwere Folgeschäden frühzeitig verhindern zu helfen. Die Temperaturmessung der Patella ergab nur schwache Signifikanz (p kleiner 0,05) in der Diagnosesicherheit, sowohl bei Messung der absoluten Temperaturen als auch im Seitenvergleich.

Es besteht jedoch sowohl bei rein optischer Auswertung, als auch bei Messungen der Temperaturen im Seitenvergleich ein deutlich höherer Zusammenhang zwischen IRT und Chondromalacia patellae als zwischen IRT und FPS. Kreuzbandläsionen entgingen der thermographischen Diagnose fast völlig. Der Grund dafür liegt zum einen darin, daß in dieser Studie fast nur veraltete Verletzungen untersucht werden konnten und zum anderen in der zentralen und damit gut wärmeisolierten, anatomischen Lage der Kreuzbänder.

9. Falldarstellungen

9.1 Patient G.B., 39 Jahre

Der männliche Patient erlitt 4 Monate vor der Untersuchung beim Judo einen Preßschlag von außen an das linke Knie. Er spürte damals keinen Schmerz, konnte voll belasten, bemerkte aber kurz darauf Übelkeit. Die Beweglichkeit war voll erhalten, es bildete sich kein Erguß. Einen Monat später bemerkte der Patient beim Laufen "Knackgeräusche", hatte gelegentlich eine Beugesperre und für 3 Wochen Schmerzen im Gelenk. Der Hausarzt verordnete während dieser Zeit Ruhe und schlug eine Gipsschiene vor.

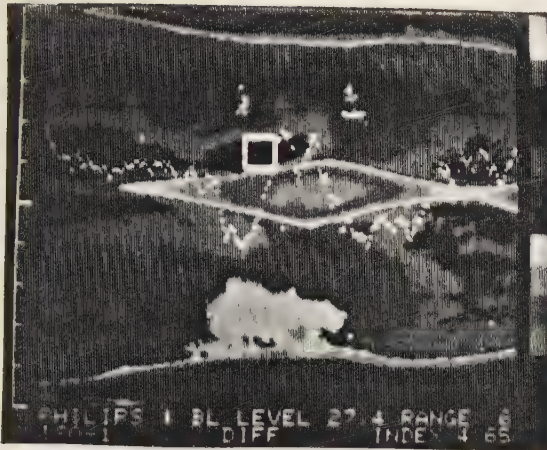
Schließlich stellte sich der Patient in Großhadern vor und erhielt einen Termin zur Arthroskopie.

Eine präoperativ ausgeführte Arthrographie ergab einen Innenmeniskusschaden.

Die präoperative Thermographie zeigte in anteriorer Projektion am medialen, linken Kniegelenksspalt eine deutliche Hyperthermie von $3,8^{\circ}\text{C}$. In lateraler Ansicht war das Gelenk unauffällig, von medial zeigte sich ebenfalls eine Hyperthermie im anterioren Drittel des Kniegelenkspaltes (Abb. 31). Damit diagnostizierten wir thermographisch eindeutig eine Meniskusläsion.

Abb. 31

Thermogramm von G.B.



a) von anterior

Das linke Bein wurde arthroskopiert. Das weiße Quadrat markiert das betroffene Bein proximal des hyperthermen Kniegelenkspaltes.



b) von medial

Das weiße Quadrat liegt über einem hyperthermen Bezirk in Projektion des posterioren Kniegelenkspaltes.



c) von lateral

Das weiße Quadrat liegt auf einem hyperthermen Bezirk proximal des linken Kniegelenkspaltes.

Außerdem zeigte sich die Patella in anteriorer Ansicht insgesamt ca. 0,6°C wärmer als die Gegenseite, so daß wir den Verdacht auf Chondromalacia patellae äußerten. Klinisch bestand außerdem ein positives Zohlen-Zeichen, Druckschmerzhaftigkeit der Patella und damit ein FPS.

Die Arthroskopie ergab einen Innenmeniskus-Korbhenkel-Riß und eine halbpenniggroße Chondromalazie-Zone im Bereich der medialen Patella-Facette.

Die Diagnose der IRT wurde damit arthroskopisch voll bestätigt.

9.2 Patient M.G., 35 Jahre

Die Patientin weist eine sehr kurze Anamnese auf. Einen Monat vor Untersuchung knickte sie beim Umzug mit dem rechten Knie um. Einen Tag später war das Gelenk geschwollen, es schmerzte bei Belastung und Bewegung und konnte nicht voll gestreckt werden.

Die Meniskuszeichen waren negativ, ebenfalls die klinische Untersuchung auf FPS.

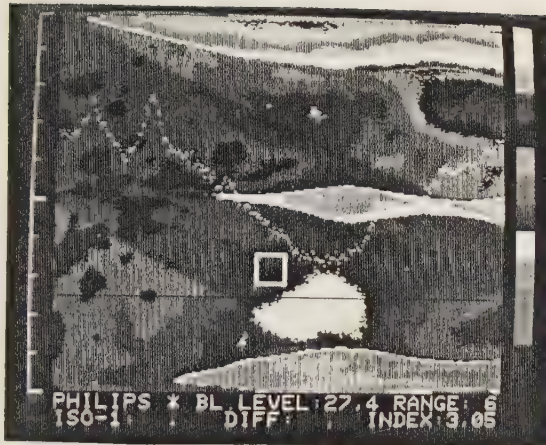
Arthographisch war der Verdacht auf Innenmeniskus-Hinterhorn-Läsion geäußert worden, weswegen die Patientin in Großhadern zur Arthroskopie vorgestellt wurde.

Im thermographischen Bild zeigten sich rechts völlig unauffällige Verhältnisse sowohl von anterior, als auch von medial und lateral. Die Patella war mit 30,3°C die kühlsste Region des Beines. Flächige Hyperthermien an beiden Oberschenkeln konnten als Varizen identifiziert werden (Abb. 32).

Die Arthroskopie ergab ebenfalls unauffällige Menisci und lediglich eine Patella-Subluxation Grad II.

Abb. 32

Thermogramm von M.G.



a) von anterior

Das rechte Bein wurde arthroskopiert. Das weiße Quadrat markiert das betroffene Bein proximal des hyperthermen Kniegelenkspaltes.



b) von medial

Das weiße Quadrat liegt über einem hyperthermen Bezirk proximal des rechten Gelenkspaltes.



c) von lateral

Das weiße Quadrat liegt auf einem hyperthermen Bezirk proximal des linken Kniegelenkspaltes. Das rechte Knie weist keine Hyperthermie auf.

Auch hier wurde die thermographische Diagnose "unauffälliges Kniegelenk" bestätigt. Engmaschige Thermographiekontrollen könnten in Zukunft ein Abwarten bis zur Operation ermöglichen.

9.3 Patient E.P., 44 Jahre

5 Monate vor der Untersuchung erlitt der männliche Patient einen Skiunfall, und verspürte in der Folge für ca. 1 Woche Schmerzen im rechten Kniegelenk. Es fand keine Konsultation eines Arztes statt. Einen Monat später knickte er erneut um. Danach verspürte er starken Schmerz bei Bewegung, Belastung und in Ruhe und beobachtete ein geschwollenes Gelenk.

Zum Zeitpunkt der Untersuchung hatte er keine Schmerzen mehr und keinerlei Hinweise auf Vorliegen eines FPS. Klinisch wurde der Verdacht auf eine Meniskus-Korbhenkel-Läsion geäußert und arthrographisch bestätigt.

Thermographisch war in anteriorer Projektion eine deutliche Hyperthermie von $3,3^{\circ}\text{C}$ über dem medialen rechten Kniegelenksspalt zu sehen. Die Patella erschien flächig um ca. $0,6^{\circ}\text{C}$ überwärmt. Von seitlich zeigte sich über dem Gelenkspalt des rechten Knies eine deutliche Hyperthermie von $3,5^{\circ}\text{C}$ medial und $3,1^{\circ}\text{C}$ lateral (Abb. 33).

Daher äußerten wir den Verdacht auf Meniskusläsion und eventuell auf Chondromalacia patellae.

Arthroskopisch ergab sich eine Innenmeniskusläsion rechts bei sonst unauffälligen Verhältnissen.

Die falsch-positive Chondromalacia patellae dürfte hier ein Ergebnis des über 3 Monate dauernden Reizzustandes sein, in dessen Folge sich das gesamte Kniegelenk erwärmte.

Damit werden andere hypertherme Zonen im Kniegelenk kaschiert und eine differenzierte Aussage unmöglich gemacht. Die IRT hätte also hier, wenn überhaupt, nur kurz nach dem Trauma eine richtige Diagnose stellen können.

Abb. 33
Thermogramm von E.P.

- a) von anterior
Das rechte Bein wurde arthroskopiert. Das weiße Quadrat markiert das betroffene Bein proximal des hyperthermen Kniegelenkspalts.

- b) von medial
Das weiße Quadrat liegt über einem hyperthermen Bezirk proximal des rechten Gelenkspaltes.

- c) von lateral
Das weiße Quadrat liegt auf einem hyperthermen Bezirk über dem rechten Kniegelenkspalt.

In der Kontrolluntersuchung 6 Monate nach Arthroskopie zeigten sich beide Knie völlig unauffällig, lediglich von medial war noch eine kleine Hyperthermiezone über dem rechten Gelenkspalt zu sehen. Die Patella-Temperaturen lagen jetzt wieder seitengleich tief.

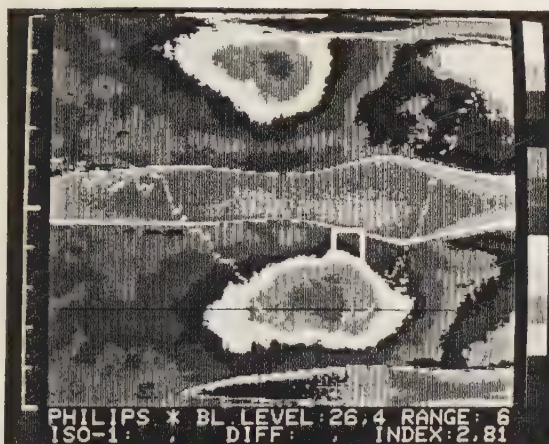
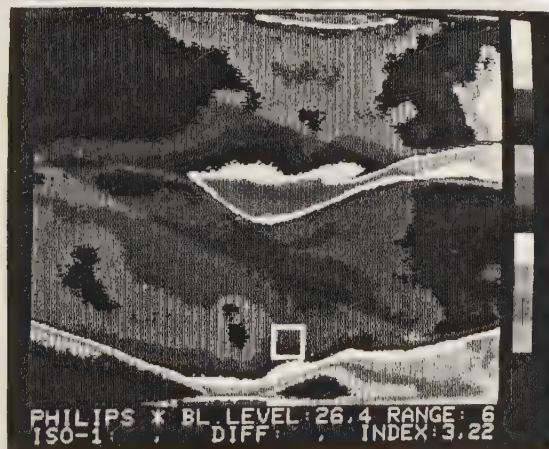


Abb. 34

Thermogramm von E.P.
Bei Nachuntersuchung

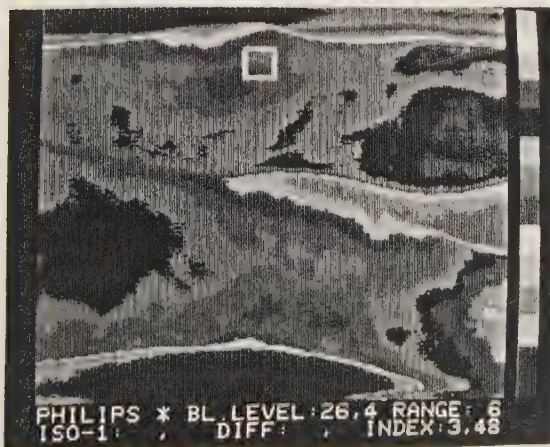
a) von anterior

Das rechte Bein wurde
arthroskopiert. Das
weiße Quadrat markiert
das betroffene Bein
medial über dem
Kniegelenkspalt.



b) von medial

Das weiße Quadrat liegt
über dem rechten Knie-
gelenkspalt.



c) von lateral

Das weiße Quadrat liegt
über dem rechten
Kniegelenkspalt.

9.4 Patient E.T., 45 Jahre

Der männliche Patient klagte seit mehreren Jahren über Schmerzen im rechten Kniegelenk, die bei Belastung zunahmen. Ein Trauma oder Unfall war nicht erinnerlich, das Gelenk war voll beweglich und nicht geschwollen.

Klinisch und arthrographisch wurde der Verdacht auf Innenmeniskus-Korbhenkel-Läsion geäußert. Außerdem wiesen Patella-Druckschmerzhaftigkeit und positives Zohlenzeichen auf ein FPS hin.

Die Thermographie zeigte von anterior über dem medialen Kniegelenksspalt und im Zentrum der Patella eine Hyperthermiezone von 3,2 bzw. 2,4°C. Von medial erschien die gesamte Projektion des medialen und des anterioren Drittels des rechten Kniegelenkspaltes um 2,2 bis 3,4°C überwärmt (Abb. 35).

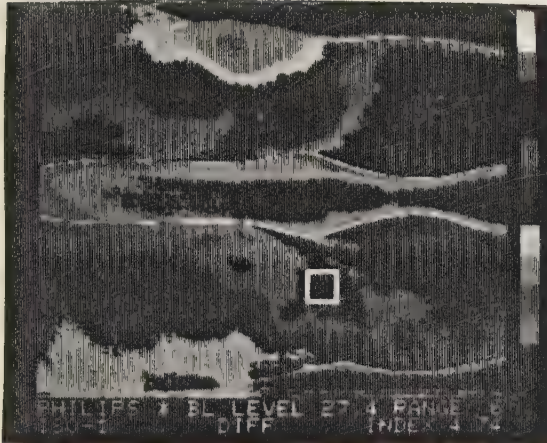
Der Verdacht auf Läsion, wahrscheinlich des Innenmeniskus, und Vorliegen einer Chondromalacia patellae konnte geäußert werden.

Die Arthroskopie ergab eine Innenmeniskus-Korbhenkel-Läsion und eine Chondromalacia patellae Grad II des rechten Kniegelenks.

Die Chondromalacia patellae könnte Folge der verschleppten Innenmeniskusläsion sein. Auch hier wäre zu hoffen, daß die IRT in Zukunft bei solchen Fällen eine frühe Entscheidungshilfe geben können wird.

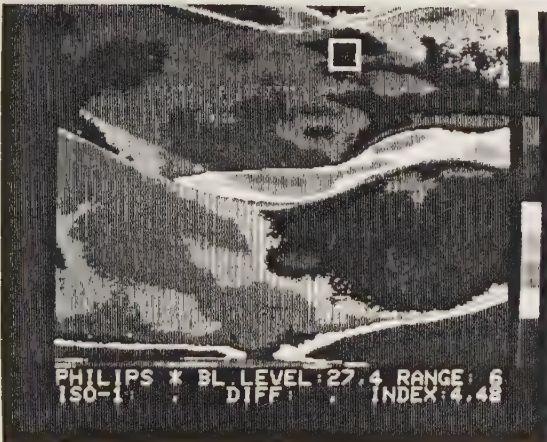
Abb. 35

Thermogramm von E.T.



a) von anterior

Das rechte Bein wurde arthroskopiert. Das weiße Quadrat markiert das betroffene Bein zentral über dem Kniegelenkspalt.



b) von medial

Das weiße Quadrat liegt auf einem hyperthermen Bezirk über dem hinteren Drittel des rechten Gelenkspaltes.



c) von lateral

Das weiße Quadrat liegt über einer hyperthermen Zone proximal des rechten Gelenkspaltes.

9.5 Patient D.T., 21 Jahre

Der sportliche, männliche Patient litt seit 2 Jahren unter zunehmenden belastungsabhängigen Schmerzen im rechten Kniegelenk.

Klinisch ergaben sich keine Hinweise auf Meniskusläsionen oder Chondromalacia patellae. Die schließlich angeordnete Arthrographie ergab den Verdacht auf Vorliegen einer Innenmeniskusläsion, weshalb der Patient zur Arthroskopie vorgestellt wurde.

Die Thermographie zeigte beidseitig unauffällige Temperaturverhältnisse über dem Kniegelenk. Die Patella erschien als kühle Zone, und in der Projektion des Gelenkspaltes verlief ebenfalls ein kühler Bereich (Abb. 36).

Die Arthroskopie ergab völlig unauffällige Gelenkverhältnisse. Lediglich eine Patella-Subluxation Grad I konnte diagnostiziert werden.

In diesem Fall erscheint eine Abwägung zwischen der belastenden Arthrographie und der ungefährlichen IRT angezeigt. So könnte eventuell bei negativer Klinik und negativem Thermographiefund auf die Arthrographie verzichtet werden.

Der Patient konnte nach 6 Monate erneut thermographiert werden und bot exakt das gleiche Bild. Der Eingriff der diagnostischen Arthrographie hatte also das Kniegelenk nicht langfristig gereizt und hinterließ keine hyperthermen Bezirke.

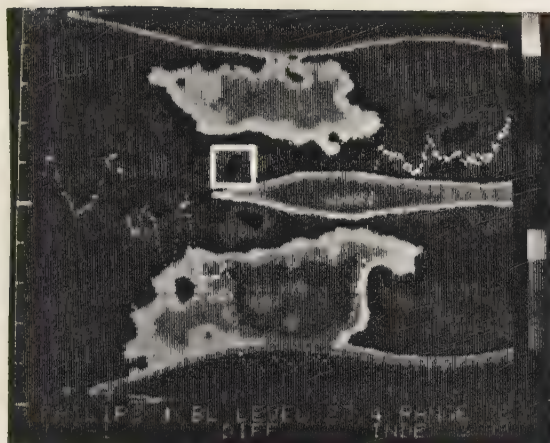
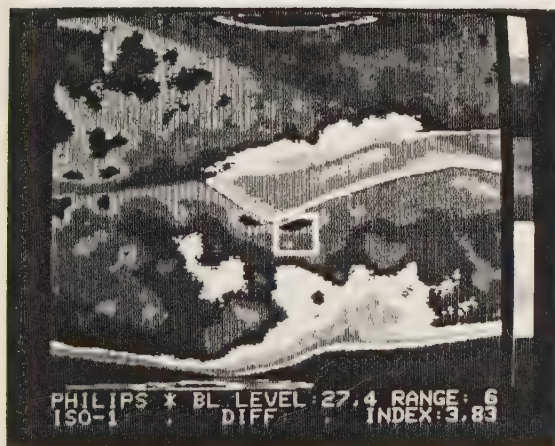


Abb. 36

Thermogramm von D.T.

a) von anterior

Das rechte Bein wurde arthroskopiert. Das weiße Quadrat markiert das linke Bein proximal über dem Kniegelenkspalt.



b) von medial

Das weiße Quadrat liegt über einer hyperthermen Zone über dem hinteren Drittel des rechten Gelenkspaltes.



c) von lateral

Das weiße Quadrat liegt über einer hyperthermen Zone distal des rechten Gelenkspaltes.

9.6 Patient J.S. 36 Jahre

Der männliche Patient erhielt 12 Monate vor der Untersuchung ein Transplantat des rechten Innenmeniskus. Er trieb wieder Sport und war subjektiv völlig beschwerdefrei.

Vorgestellt wurde er zur routinemäßigen arthroskopischen Kontrolle des Transplantats.

Thermographisch zeigte sich von anterior eine deutlich hypertherme Zone lateral und proximal des rechten Kniegelenkspaltes. Die Hauttemperatur lag hier $3,8^{\circ}\text{C}$ über der Oberschenkelgrundtemperatur. Die Projektion des Kniegelenkspaltes selbst stellte sich kühl dar. Von lateral zeigte sich der beschriebene warme Bezirk mit $4,1^{\circ}\text{C}$ deutlicher und auch die Projektion des Gelenkspaltes war überwärmt, wenngleich nur um $1,2^{\circ}\text{C}$. Medial ergab sich eine leichte Überwärmung von $0,8^{\circ}\text{C}$ im mittleren Drittel des Kniegelenkspaltes (Abb. 37).

Die Arthroskopie zeigte ein fest verankertes, aber erheblich verschmälertes Transplantat und einen Außenmeniskus-Korbhenkel-Riß.

Die Thermographie konnte hier das reizarme Innenmeniskus-Transplantat bestätigen. Sie zeigte ebenfalls eine deutliche Hyperthermie über dem lateralen Gelenkspalt als Hinweis auf eine laterale Meniskusläsion. Bei genauer Analyse der Lokalisation des deutlich hyperthermen Bezirkes ergab sich, daß es sich um den durch forciertes Aufbautraining gereizten distalen Anteil des vastus musculus lateralis handelte.

Gerade bei langfristiger Operationskontrolle, wie sie Meniskus-Transplantate erfordern, bietet sich die IRT als belastungsfreies, beliebig oft wiederholbares Untersuchungsinstrument zur engmaschigen Kontrolle an. Sie kann sogar Hinweise geben, ob das Aufbautraining der nach Verletzung und Operation erschlafften Muskeln im richtigen Maß erfolgt, oder ob Überlastungen vorliegen.

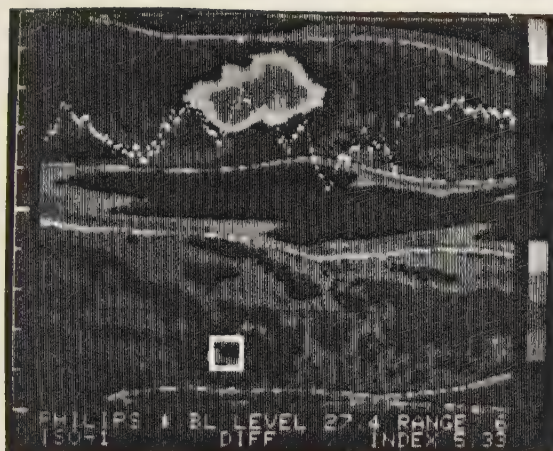
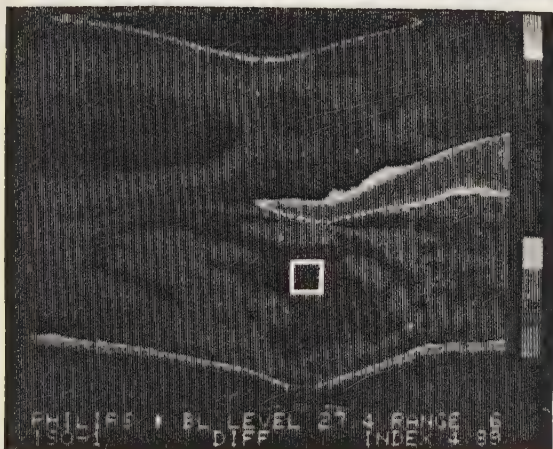


Abb. 37

Thermogramme von J.S.

a) von anterior

Das rechte Bein wurde arthroskopiert. Das weiße Quadrat markiert das rechte Bein proximal über dem Kniegelenkspalt.



b) von medial

Das weiße Quadrat liegt über einer hyperthermen Zone über der rechten Patella.



c) von lateral

Das weiße Quadrat liegt über einer hyperthermen Zone im hinteren Drittel des rechten Kniegelenkspaltes.

10. Diskussion und Zusammenfassung

Aufbauend auf den grundlegenden Arbeiten von Keyl an unserem Hause (65) sollte mit dieser Arbeit überprüft werden, ob die Thermographie einen Beitrag zur Diagnose von Meniskusläsionen und Chondropathia patellae leisten kann.

Zum besseren Verständnis wird zuerst eine kurze Darstellung der Anatomie des Kniegelenks sowie der Pathogenese und Diagnostik von Meniskus-, Knorpelgleitlager- und Kapsel-Band-Läsionen gegeben.

Ebenso wird die Entwicklung der Thermographie von den einfachsten Anfängen bis zum heutigen Stand kurz dargestellt, und die typischen Vertreter der jeweiligen Entwicklungsstufen werden exemplarisch vorgestellt.

Ferner gibt diese Arbeit eine Zusammenfassung über die bisherigen Anwendungsmöglichkeiten der Thermographie in der Orthopädie, die jedoch fast alle nur durch kasuistische Berichte oder unsystematische Untersuchungen belegt werden können.

Die Infrarot-Thermographie (IRT) ist ein passives, nicht invasives Verfahren, mit dem Wärmestrahlung der Hautoberfläche gemessen werden kann. Die heute verwendeten Kameras erreichen dabei eine thermische Auflösung von $0,06^{\circ}\text{C}$ bei einer Bildfrequenz von 1 pro Sekunde und erlauben durch ihre Temperaturkonstanz von $0,1^{\circ}\text{C}$ bei Messung der Temperaturdifferenzen standardisierbare und reproduzierbare Untersuchungen. Von größter Bedeutung sind dabei konstante Umweltbedingungen. Die Raumtemperatur muß mit einer Schwankung von weniger als $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ im Bereich zwischen 18 und 24°C konstant gehalten werden, die Luftfeuchtigkeit sollte bei $50-60\%$ liegen und die Windgeschwindigkeit kleiner als $0,2$ m pro Sekunde sein. Ferner muß der Untersuchungsraum von Infrarotstrahlung isoliert werden. Unter diesen Standardbedingungen können reproduzierbare Wärmebilder der menschlichen Hautoberfläche erstellt werden, die jedoch nicht ohne genaue Kenntnis der Physiologie der Hauttemperatur zu interpretieren sind.

Der Patient muß vor der Untersuchung körperliche Anstrengung vermeiden und darf keine gefäßaktiven Substanzen wie Alkohol, Koffein oder Nikotin zu sich genommen haben, da hierdurch nicht mehr aussagefähige Artefakte entstehen.

Im Rahmen dieser Studie wurden thermographische Untersuchungen an 102 Patienten der orthopädischen Universitätsklinik Großhadern durchgeführt, die dem laufenden Patientengut von 4 Monaten entstammten und sich zur Arthroskopie im Hause befanden. Wir konnten die oben geschilderten Standardbedingungen erfüllen und thermographierten die Patienten jeweils direkt vor der Arthroskopie. Danach verglichen wir die erhobenen Befunde, wobei wir uns aus physikalischen und anatomischen Gründen auf Meniskusläsionen, Chondropathia patellae und Kreuzbandläsionen beschränkten.

Bei Meniskusläsionen besteht die Zielvorstellung darin, die für den Patienten schmerzhaft und mit Strahlenbelastung verbundene Arthrographie zu ersetzen, und mit der Infrarotthermographie und dem klinischen Befund zu entscheiden, ob eine Arthroskopie sinnvoll erscheint. Dabei ergibt die IRT bei dem von uns untersuchten Krankengut bei rein optischer Auswertung eine Trefferquote von 84,5% bei arthroskopisch gesicherten Meniskusschäden. Die vorher durchgeführte Arthrographie entdeckte nur 57,7% der Verletzungen. Die arthroskopisch gesunden Patienten wurden thermographisch in 61,3% und arthrographisch in 45,2% richtig erkannt. Eine noch höhere Trefferwahrscheinlichkeit erzielt die IRT, wenn die Temperaturen der Hautoberfläche nicht nur als Farbbild, sondern als exakte Zahlen zur Diagnose herangezogen werden. Von medial und lateral zeigte sich eine Hyperthermie über dem Kniegelenksspalt von 2,5 bis 2,7°C und eine durch den T-Test für unverbundene Stichproben ermittelte Irrtumswahrscheinlichkeit von "p kleiner 0,05" für die richtige Diagnose. Im Seitenvergleich der beiden Knie erhöhte sich die Wahrscheinlichkeit, eine vorhandene Meniskusläsion zu entdecken auf das Signifikanz-Niveau "p kleiner 0,001".

Diese Ergebnisse belegen eindeutig, daß die IRT fähig ist, im klinischen Alltag die Arthrographie auf diesem Gebiet zu ergänzen, und dem Arzt die Entscheidung erleichtern kann, ob und wann ein Patient arthroskopiert werden soll.

Mit dieser Arbeit sollte ebenfalls untersucht werden, ob die Thermographie eine Unterstützung für den Arzt sein kann, einen retro-patellaren Knorpelschaden oder ein Femoro-Patellares-Schmerzsyndrom (FPS) zu diagnostizieren. Bei arthroskopisch unauffälligen Knorpelverhältnissen der Patella konnte die IRT bei rein optischer Auswertung in 74,1% eine Chondromalazie ausschließen, in diesen Fällen bestand in 86,2% auch kein FPS. Das Thermogramm entdeckte jedoch 58,1% der pathologischen Knorpelbefunde, während hier die klinische Untersuchung nur in 27,3% die Diagnose eines FPS erlaubte. Wurde zusätzlich noch die gemessene Temperatur herangezogen, war die mittlere Temperatur der von Chondromalacia patellae betroffenen Kniescheibe um 0,4°C höher als die der gesunden. Dieser Wert ergab einen statistisch signifikanten Unterschied und damit eine Irrtumswahrscheinlichkeit von " p kleiner 0,05".

Knie mit FPS waren im Mittel nur um 0,34°C überwärmt und erreichten keine Signifikanz im Unterschied zum gesunden Bein der anderen Seite. Die IRT erreichte bei der Diagnose der Chondromalacia patellae und des FPS also nicht die Exaktheit wie bei Meniskusläsionen, doch besteht ein deutlicher Zusammenhang. Damit eignet sich die IRT als Screening-Verfahren besonders zur Erfassung präklinischer Frühstadien der Chondromalacia patellae und zur belastungsfreien Verlaufskontrolle.

Schließlich versuchten wir noch, Kreuzbandläsionen im thermographischen Bild zu erfassen. Die Kreuzbänder liegen zentral im Kniegelenk und können dadurch bei Reizung ihre Wärme sehr schlecht an die Hautoberfläche abgeben, so daß sie für die IRT schwer zu sehen sind. Das Verletzungsalter der zur Verfügung stehenden Patienten war darüberhinaus im Mittel so hoch, daß praktisch keine frische Kreuzbandläsion untersucht werden konnte. Aus diesen Gründen blieb die IRT bei der Diagnose der veralteten Kreuzbandläsion erfolglos. Es konnte weder bei optischer Auswertung noch durch Analyse der Meßwerte eine signifikante Aussage erstellt werden.

Die Ergebnisse von Keyl (65,) die vor allem an Sportlern mit Sehnen- oder Bandrupturen erarbeitet wurden, und besonders in der Nachsorge den Platz der IRT andeuteten, konnten mit dieser Studie ergänzt und untermauert werden. Für die Orthopädie bietet sich die thermographische Diagnostik bei Verdacht auf Meniskusläsion oder retro-patellarem Knorpelschaden und bei Verlaufsbeobachtungen damit als wertvolles Hilfsmittel an.

Bei solchen Verlaufskontrollen kann die IRT z.B. zwischen den notwendigen arthrographischen oder arthroskopischen Untersuchungen eingesetzt werden und so die Engmaschigkeit ohne zusätzliche Belastung des Patienten erhöhen. Dies gilt vor allem für die immer häufiger gerade bei jungen Patienten durchgeführte Meniskus-Transplantation.

Weitere Arbeiten sollten jedoch diese Pilotstudie noch ergänzen. Es bietet sich an, Messungen bei verschiedenen Raumtemperaturen durchzuführen, um zu untersuchen, ob eventuell signifikantere oder weniger stark streuende Ergebnisse bei konstant tieferen oder konstant höheren Temperaturen als den von uns festgesetzten zu erzielen sind.

Gute differentialdiagnostische Aussagemöglichkeiten versprechen auch dynamische Verfahren, bei denen der Patient vor und nach einem Stimulus, wie körperlicher Betätigung oder Temperaturreizen, untersucht wird. Eventuell fallen dabei Läsionen durch eine gestörte Reaktion auf diese extremen Reize auf.

Ferner sollte eine exakte Schmerzskala beim FPS erarbeitet werden und diese mit dem Thermogramm korreliert werden, um die Aussagen der IRT besser quantifizieren zu können. Auch könnte es für diese Fragestellung sinnvoll sein, eine Studie, die sich ausschließlich mit der Chondropathia patellae befaßt, und nicht durch Effekte anderer Läsionen beeinflusst wird, durchzuführen.

Für große Häuser bietet sich ferner die Möglichkeit, eine prospektive Studie mit der IRT auf der Grundlage dieser Arbeit zu beginnen, indem über einen längeren Zeitraum alle Patienten der Sprechstunde zur Diagnostik thermographiert werden. Die vorab erhobenen Thermogramme sollten dann sekundär mit der klinisch und apparativ gewonnenen Diagnose verglichen werden. Auf diese Weise könnten die hier dargestellten Ergebnisse überprüft und eventuelle Erweiterungen der Diagnosemöglichkeiten sondiert werden.

11. Literaturhinweise

1. Aarts, N.J.M.: Medizinische Thermographie
Bergmanns, Tilburg 1969
2. Acciari, L.; Dalla Selva, A.; Carnevale, F.:
Thermography in the hand angiopathy
from vibrating tools
Acta therm. 1 (1976) 18
3. Ambrosi, C.: Die Farb-Thermographie bei Arterienerkrankungen
der Extremitäten
Sandorama (1974) 11
4. Andresen, R.: Neues und Altes zum Problem der Meniskuse Entfernung
Dtsch. med. J. 12 (1961) 165
5. Appel, H.: Late results after Meniscectomy of the knee joint
Acta orthop. scand. Suppl. 133 (1970)
6. Aschoff, J.; Werner, R.:
Kern und Schale im Wärmehaushalt des Menschen
Naturwissenschaften 54 (1958) 477
7. Astheimer, R.W.; Wormser, E.W.:
High speed i.v. radiometers
J. opt. Soc. Amer. 49 (1959) 179

8. Bandi, W.: Die repropatellaren Kniegelenksschäden
in: Aktuelle Probleme in Chirurgie und
Orthopädie Band 4
Hrsg. von Burri, C.; Herfarth, C.; Jäger, M.;
Huber, Bern, Stuttgart, Wien (1977)

9. Barnes, R.B.: Thermography of the human body
Science 140 (1963) 870

10. Bartsch, B.: Das thermographische Bild der gesunden und
der kranken Wirbelsäule
Dissertation, Bochum (1974)

11. Binder, A.; Parr, G.; Page Thomas, P.; Hazleman, B.:
A clinical and thermographic study of
lateral epicondylitis
British Journal of Rheumatology 22 (1983) 77

12. Bircher, E.: Beitrag zur Pathologie und Diagnose der
Meniskusverletzung
Bruns' Beitr. klin. Chir. 127 (1922) 239

13. Bird, H.A.: Diagnoses of infected prepatellar bursa by thermography
Acta therm. 1 (1976) 80

14. Bird, H.A.: Lack of correlation of arthroscopic synovial
appearance with thermography in joint inflammation
Rheumatology and rehabilitation 17 (1978) 107

15. Bird, H.A.: Measurement of temperature in the arthritic hand
Rheumatology and rehabilitation 4 (1980) 205

16. Böck, C.: Thermographische Untersuchungen bei Patienten mit
lumbalem Wurzelkompressionssyndrom.
Dissertation in Vorbereitung an der orthopädischen
Klinik München Großhadern.

17. Böhler, L.: Die Meniskusverletzung
Wien. klin. Wschr. 51 (1938) 972
18. Borg, S.-B.: Thermal imaging with real time picture presentation
App. opt. 7 (1968) 1697
19. Branemark, P.I.:
Biologic and clinical evaluation of IR thermography
J. Radiol. Electrol. 48 (1967) 69
20. Bürkle de la Camp, H.:
Stellungnahme zu dem "chirurgischen" Berufskrankheiten
der sechsten Berufskrankheitenverordnung
Hefte Unfallheilkunde 78 (1964) 15
21. Colavita, A.; Ovazi, C.; Fusco, A.:
Role of telethermography and arthrography in
rheumatoid wrist
Diagnostic imaging 52 (1983) 189
22. Cooke, E.D.: Thermography in diagnosis of deep venous thrombosis
Brit. med. J. 2 (1973) 523
23. Crabtree, S.D.; Bedford, A.F.; Edgar, M.F.:
The value of arthrography and arthroscopy in
association with a sports injuries clinic: a
prospective and comparative study of 182 patients
Injury 13, (1981) 220
24. Cristofolini, M.:
Correlations between thermography and morphology of
primary cutaneous malignant melanomas
Acta therm. 1 (1976) 3

25. Devereaux, N.D.; Parr, G.R.; Lachmann, S.M.; Page Thomas, S.M.;
Hazleman, B.L.:
Thermographic diagnosis in athletes with
patellofemoral arthralgia
British editorial soc. of bone and joint surgery
1 (1986) 42
26. Dieppe, P.A.; Ring, E.F.J.; Cadge, B.:
Thermal patterns of osteoarthritic knees and hands
in: Med. thermology
Hrgs. Ring. E.F.J. und Phillips, B.;
Plenum press, N.Y., London (1984)
27. Edeiken, I.; Shaber, G.:
Thermography: a reevaluation
Skeletal Radiol 15 (1986) 545
28. Edrich, J.; Smyth, C.J.:
Arthritis inflammation monitored by subcutaneous
millimeter wave thermography
J. Rheumatol. 5 (1978) 59
29. Ellis, R.A.: The Epidermis
Academic press, N.Y. (1964)
30. Engel, J.M.: Physical and physiological influence of medical
ointments on infrared thermography
in: Medical thermology
Hrgs. Ring. E.F.J. und Phillips, B.;
Plenum press N.Y., London (1984)
31. Engel, J.M.: Thermische Differentialdiagnostik bei Erkrankungen des
Bewegungsapparates
Erfahrungsheilkunde 10 (1983) 647

32. Engel, J.M.: Thermographie - Technik und klinische Anwendung
Deutsches Ärzteblatt 44 (1979) 2877
33. Engel, J.M.: Thermographische Verlaufsbeobachtungen einer
aktivierten Gonarthrose unter Behandlung mit
Indometacin-Spray
Arthritis und Rheuma 6 (1984) 53
34. Engel, J.M.: Thermography in rheumatology
in: Medical thermology
Hrsg. Ring, E.F.J. und Phillips, B.;
Plenum press N.Y., London (1984)
35. Engel, J.M.; Flesch, U.; Stüttgen, G.:
Thermologische Meßmethodik
Notamed, Baden Baden (1983)
36. Fait, M.; Janover, M.; Rott, Z.:
The use of IR thermovision in the diagnoses of
orthopedic diseases.
Acta Fac. med. Univ. Brun. 52 (1975) 303
37. Fawell, C.; Wallace, J.D.; Edeiken, I.:
Thermography and osteosarkoma
Radiology 90 (1968) 792
38. Feigl, M.: Thermographische Untersuchungen an Patienten mit
Skoliose
Dissertation in Vorbereitung an der orthopädischen
Klinik München Großhadern
39. Fischer, M.: Thermographische Untersuchungen von Metallimplantaten
Dissertation, Essen (1976)

40. Frick, H.; Leonhardt, H.; Starck, D.:
Allgemeine Anatomie - Spezielle Anatomie Bd. 1
Thieme, Stuttgart (1980)
41. Gautherie, M.: The logic and perspective of thermography
Bibl. Radiol., No. 6 (1975) 255
42. Ganssen, A.: Medizinische Thermographie
Röntgenpraxis 24 (1971) 97
43. Geerling, A.: Thermographische Untersuchungen an der gesunden und
kranken Hand
Dissertation, Essen (1975)
44. Gershon-Cohen, J.; Habermann-Brueschke, I.P.; Brueschke, E.E.:
Medical thermography
J. radiol. Electrol. 48 (1967) 12
45. Gillström, P.: Thermography in low back pain and sciatica
Arch. orthop. trauma surg. 104 (1985) 31
46. Goldie, I.: Der augenblickliche Stand der Thermographie in
klinischer, praktischer und experimenteller Anwendung
in: Die medizinische Anwendung der Thermographie
AGA, Lidingö/Schweden Publ. 556 (1971) 126
47. Gottlob, R.; Tielsch, W.; Czembirer, H.; Imhoff, H.; Mayrhofer, H.P.;
Berger, A.:
Untersuchungen über die Grundlagen des Tumornachweises
mittels Thermographie
Z. Exper. Chirurg. 8 (1975) 299

48. Gresser, A.: Der Heilverlauf von Unterschenkelfrakturen
Fortschr. med. 89 (1971) 65
49. Gros, Ch.; Bourjat, P.; Gautherie, M.; Vrousos, C.:
Orientations nouvelles en thermographie
Presse med. 77 (1969) 675
50. Haupt, P.R.; Hug, F.:
Kniegelenksdiagnostik durch Arthrographie und
Arthroskopie
Zeitschrift für Allgemeinmedizin 16 (1983) 928
51. Heissen, E.; Teschke, H.J.; Betzner, I.:
Zur Aussagekraft der Thermographie und der
Arteriographie bei peripheren Durchblutungsstörungen
Folia angiolo. Pisa 20 (1972) 87
52. Heller, L.; Langmann, I.:
The menisco-femoral ligaments of the human knee
J. Bone Joint Surg. 46-B (1964) 307
53. Henche, H.R.: Die Arthroskopie des Kniegelenks
Springer, Berlin - Heidelberg - N.Y. (1978)
54. Hien, N.M.; Wirth, C.J.:
Diagnostik akuter und chronischer
Kniegelenksverletzungen
Praktische Sport-Traumatologie und Sportmedizin 4
(1985) 3
55. Hobbins, W.R.: Differential diagnosis of pain using thermography
in: Med. thermology
Hrsg. Ring, E.F.J. und Phillips, B.;
Plenum press, N.Y., London (1984)

56. Hobbins, W.B.: Thermography and pain
Biomedical thermology
R.Liss, Inc., N.Y. (1982) 361
57. Houdas, Y.; Guiev, J.-D.:
Environmental factors affecting skin temperatures
Bibl. radiol. 6 (1975) 157
58. Hughston, J.C.; Walsh, W.M.; Puddu, G.:
Patellar subluxation and dislocation
Saunders, Philadelphia (1984)
59. Huskisson, E.C.; Berry, H.; Browett, J.P.; Wykeham Balme, H.:
Measurement of inflammation
Ann. rheum. dis. 32 (1973) 99
60. Jalava, S.; Räsänen, W.:
Thermographic evaluation of intra-articular treatment
with radioactive Yttrium
Scand J. rheumatology 4 (1975) 134
61. Jatteau, M.: Techniques of infrared thermography
Bibl. radiol. 6 (1975) 9
62. Jonasch, E.: Erlernen und Beurteilen der Meniskusverletzung des
Kniegelenks durch das gewöhnliche Röntgenbild
Hefte Unfallheilkunde 90 (1967) 1
63. Jones, C.H.: Physical aspects of thermography in relation to
clinical techniques
Bibl. radiol. 6 (1975) 1

64. Kafarnik, D.; Engel, M.J.:
Gelenkszintigraphie und Thermographie als
diagnostische Hilfsmittel bei der rheumatoiden
Arthritis
Therapiewoche 29 (1979) 7291
65. Keyl, W.; Lenhart, P.:
Die Thermographie bei Sportverletzungen und
Sportschäden des Bewegungsapparates
Fortschr. med. 92 (1975) 124
66. Kieser, Ch.; Rüttimann, A.:
Arthographie und Arthroskopie in der Meniskusdiagnostik
in: Arthroskopie des Kniegelenkes - Symposium Kiel 1978
Hrsg. von Blauth, W. und Dunner, K.;
Thieme, Stuttgart 1979
67. Kieser, Ch.; Rüttimann, A.:
Die Arthroskopie des Kniegelenks
Schweiz. med. Wschr. 106 (1976) 1631
68. Kohn, D.; Münch, E.O.:
Der pathologische arthroskopische Befund im
Patellofemoralgelenk und seine klinische Bedeutung
Ref. aus der orthop. Klinik der LMU München,
Klinikum Großhadern
69. Konermann, H.; Koob, E.:
Thermographie
Biomed. Technik 20 (1975) 321
70. Koob, E.:
Die Infrarotthermographie in der Orthopädie
Habil-Schrift, Bochum 1971

71. Lambiris, E.; Stoboy, H.:
Thermographie bei Sportverletzungen des Kniegelenkes
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 5 (1985) 144
72. Last, R.J.: The popliteus muscle and the lateral meniscus
J. Bone Joint Surg. 33-B (1950) 93
73. Lawson, R.N.: Early applications of thermography
Ann. N.Y. Acad. Sci. 121 (1964) 31
74. Lloyd-Williams, K.:
Medizinische Thermographie
Documenta Geigy, C. Geigy, Basel 1965
75. Marotte, H.; Timbal, I.:
Circadian rhythm of thermoregulating responses in man
Biomedical thermologie, R. Liss, Inc., (1982) 159
76. Mc Daniel, G.W.:
Thermal imaging by means of the evaporograph
Appl. Opt. 1 (1962) 311
77. Menschik, A.: Mechanik des Kniegelenkes 1. Teil
Z. Orthop. 112, (1974) 481
78. Menschik, A.: Mechanik des Kniegelenkes 2. Teil
Z. Orthop. 113, (1975) 388
79. Munzinger, U.; Dubs, L.; Buchmann, R.:
Das femoro-patellare Schmerzsyndrom
Orthopädie 14 (1985) 247

80. Nilsson, S.K.; Gustafsson, S.E.; Torell, L.M.:
Skin temperature over a heat source:
experimental studies and theoretical calculations
NYAS (1980)
81. Nilsson, S.K.; Gustafsson, S.E.:
Surface temperature over an implanted artificial heat
source
Phys. med. biol. 5 (1974) 677
82. Normell, L.A.: Recording of normal and impaired cutaneous
thermoregulatory vasomotor responses by infra-red
thermography
Scand. J. clin. lab. invest. 33 Suppl. 138 (1974) 3
83. Notter, G.; Melander, O.:
Klinische Diagnostik mit Thermovisionen
Röntgen Blätter 21 (1968) 49
84. Outerbridge, R.E.:
The etiology of chondropathia patellae
J. Bone Joint Surg. 43-B (1961) 752
85. Patil, K.B.; Lloyd-Williams, K.:
Thermographic localisation of incompetent perforating
veins in the leg
Brit. med. J. 1 (1970) 195
86. Priebe, L.: Methods of thermal blood flow measurement
Bibl. radiol. 6 (1975) 33
87. Putley, E.M.: History of IR-detection part II
Infrared Physics 22 (1982) 189

88. Putley, E.H.: The development of thermal imaging systems
in: Med. thermology
Hrsg. von Ring, E.F.J. und Phillips, B.;
Plenum press, N.Y., London (1984)
89. Rajapakse, C.; Grennan, D.M.; Jones, C.; Wilkonson, L.; Jayson, M.:
Thermography in the assessment of peripheral joint
inflammation
Rheumatology and rehabilitation 20 (1981) 81
90. Revillard, M.: Legal problems of biomedical thermology
Biomedical thermology, R. Liss, Inc., (1982) 867
91. Ricklen, P.; Rüttimann, A.; del Buono, M.S.:
Die Meniskusläsion
Thieme, Stuttgart (1964)
92. Rick, K.S.; Sones, P.J.; Fleming, L.L.:
Arthroscopy and arthrography of the knee
Southern medical journal 11 (1981) 1322
93. Rimpau, A.: Arthroskopie des Kniegelenks
Dissertation, Hamburg (1981)
94. Ring, E.F.J.: Quality control in infrared thermography
in: Med. thermology
Hrsg. von Ring, E.F.J. und Phillips, B.;
Plenum press, N.Y., London (1984)

95. Rusch, D.: Langzeit-Thermographie der Haut über gesunden
 Kniegelenken
 Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim. 13 (1984) 19
96. Salisbury, R.S.; Parr, G.R.; Hazleman B.L.; Dagie Thomas, D.P.:
 Heat distribution over joints - the normal and
 abnormal pattern
 in: Med. thermology
 Hrsg. von Ring, E.F.J. und Phillips, B.;
 Plenum press, N.Y., London (1984)
97. Schlegel, K.F.: Mißbildungen, Verletzungen und Erkrankungen
 der Wirbelsäule
 in: Handbuch der Neurochirurgie
 Hrsg. von H. Olivecrona e.a.
 Springer, Heidelberg (1969)
98. Schmidt, R.F.; Thoms, G.:
 Physiologie des Menschen
 Springer, Berlin - Heidelberg - N.Y. (1980)
99. Shlens, M.; Stultz, M.R.; Benjamin, A.:
 Orthopedic applications of liquid crystal thermography
 West. J. med. 122 (1975) 367
100. Steketee, J.: Physical aspects of infrared thermography
 in: Med. thermology
 Hrsg. von Ring, E.F.J. und Phillips, B.;
 Plenum press, N.Y., London (1984)
101. Steketee, J.: Spatial resolution of thermographic cameras
 Bibl. radiol. 6 (1975) 25

102. Steketee, J.: The effect of transmission on temperature measurements
of human skin
Phys. med. biol. 18 (1973) 726
103. Stolwijk, J.A.J.:
Heat exchanges between body and environment
Bibl. radiol. 6 (1975) 144
104. Thiele, F.A.J.; Mier, P.D.; Reag, D.A.:
Heat transfer across the skin
Bibl. radiol. 6 (1975) 140
105. Thomas, D.; Ansell, B.M.; Smith, D.S.; Isaacs, R.J.:
Knee-joint temperature measurement using a
differential thermistor thermometer
Rheumatology and rehabilitation, 19 (1980) 8
106. van den Berg, J.:
Thermal conductivity and heat transfer of the human
skin
Bibl. radiol. 6 (1975) 166
107. Woodrough, R.E.:
Thermographic screening for scoliosis in adolescents
Acta therm. 1 (1976) 63

Dieter J. Steinfeld
Schraudolphstr.13a
8000 München 40
Tel.089/2720042

LEBENS LAUF

- 5.1.1961 Geburt in München
 als Sohn von Jürgen Steinfeld, Dipl.-Ing. aus Berlin
 und von Gisela Steinfeld, Hausfrau aus Bremen
 Staatsangehörigkeit: deutsch
 Konfession: evangelisch
- 9/67 Einschulung in die Volksschule an der Türkenstraße, München
- 9/71 Übertritt in das Gisela-Gymnasium, München
- 6/80 Abitur am Gisela-Gymnasium, München
- 7/80-10/81 Zivildienst in der Stiftung Pfennigparade, München
 Tätigkeit: Betreuung Körperbehinderter
- 11/81-4/82 Studium der evangelischen Theologie an der Ludwig-Maximilians-Universität(LMU), München
- 5/82 Beginn des Medizinstudiums an der LMU, München
- 4/83 Krankenpflegepraktikum in der Unfallklinik Murnau
- 3/84 Physikum an der LMU, München
- 4,9,10/84 Famulatur im Kreiskrankenhaus Füssen
 in Innerer Medizin, Chirurgie und Gynäkologie
- 3/87 I.Staatsexamen an der LMU, München
- 7/85-2/88 Dissertations-Arbeit an der Orthopädischen Klinik im Klinikum Grosshadern
 Thema: Thermographie des Kniegelenks
- 11/85-3/86 Kurs-Assistent am Anatomischen Institut der LMU, München
- 11/86 Heirat mit Dorothee Alt aus München
- 2/87 Geburt meines Sohnes Raphael Steinfeld
- 3/87 II.Staatsexamen an der LMU, München
- 4/87-2/88 Praktisches Jahr mit den Disziplinen
 Chirurgie im Krankenhaus München-Harlaching
 Innere Medizin im Krankenhaus München-Schwabing
 Gynäkologie im Klinikum Grosshadern
- 5/88 Abschluss des Studiums mit dem III.Staatsexamen an der LMU, München

